

PUCRS

ESCOLA POLITÉCNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA  
DOUTORADO

MIGUEL DA CAMINO PEREZ

**PRA CEGO VER: DESENVOLVIMENTO DE SIMULAÇÕES AUDITIVAS PARA O ENSINO DE  
CONCEITOS DE ELETROMAGNETISMO DE ESTUDANTES COM DEFICIÊNCIAS VISUAIS**

Porto Alegre  
2021

PÓS-GRADUAÇÃO - *STRICTO SENSU*



Pontifícia Universidade Católica  
do Rio Grande do Sul

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA POLITÉCNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E  
MATEMÁTICA

**PRA CEGO VER: DESENVOLVIMENTO DE SIMULAÇÕES AUDITIVAS PARA O  
ENSINO DE CONCEITOS DE ELETROMAGNETISMO DE ESTUDANTES COM  
DEFICIÊNCIAS VISUAIS**

MIGUEL DA CAMINO PEREZ

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática (PPGEDUCEM) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Educação em Ciências e Matemática.

Orientador: Prof. Dr. Regis Alexandre Lahm

**Porto Alegre**

**2021**

## Ficha Catalográfica

P438p Perez, Miguel da Camino

Pra Cego Ver : desenvolvimento de simulações auditivas para o ensino de conceitos de Eletromagnetismo de estudantes com deficiências visuais / Miguel da Camino Perez. – 2021.

81 p.

Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, PUCRS.

Orientador: Prof. Dr. Regis Alexandre Lahm.

1. Ensino de Física. 2. Acessibilidade e inclusão. 3. Ensino de Eletromagnetismo. 4. Física para cegos. I. Lahm, Regis Alexandre. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da PUCRS  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Bibliotecária responsável: Clarissa Jesinska Selbach CRB-10/2051

## RESUMO

Existe a necessidade de adaptarmos a sala de aula para estudantes com deficiência visual. O principal obstáculo de aprendizagem destes alunos encontra-se nas dificuldades de comunicação professor-aluno na apresentação de conceitos vinculados a informações visuais. Algumas teses e dissertações em Ensino de Física dos últimos 10 anos no Brasil apresentam propostas para solucionar este problema; entretanto, a maioria utiliza de recursos táteis como imagens em alto-relevo e maquetes, as quais apresentam dificuldades práticas na sua aplicação, como a confecção, o transporte e a reutilização destes materiais. A adoção de objetos de aprendizagem apresenta-se como possível caminho de superação dessas dificuldades, porém a quantidade de objetos acessíveis a pessoas com deficiências visuais disponíveis na web é escassa. Estudos apontam que a utilização de estímulos sonoros é capaz de traduzir informações imagéticas para a compreensão destas por pessoas com deficiências visuais. A presente pesquisa propõe-se a desenvolver um método de ensino de conceitos do Eletromagnetismo – campo elétrico e força elétrica – para estudantes cegos e de baixa visão, utilizando o conceito de substituição sensorial visual-auditiva na criação de simulações sobre os tópicos. A pesquisa é de caráter qualitativo, do tipo estudo de casos múltiplos, e baseia-se na Análise Fenomenológica Hermenêutica. Os resultados apontam para a eficiência do método desenvolvido.

## ABSTRACT

There is a need to adapt the classroom to visually-impaired students. The main learning obstacle of these students is found in the teacher-student communication problems regarding the presentation of concepts that are linked to visual information. Some of the dissertations and thesis on Physics Teaching from the past 10 years in Brazil propose solutions to this problem; however, most of them use tactile resources such as tactile images and mockups, which present practical difficulties in their application, including the production, transportation and reuse of these materials. The adoption of learning objects emerges as a possibility to overcome these difficulties, yet the amount of available accessible objects to the visually impaired on web is scarce. Studies show that it is possible to translate visual information through sound stimuli for its comprehension by the visually impaired. This research objective is to develop a learning object for teaching concepts of the Electromagnetism – electric field and electric force - to blind and low vision students, using the concept of visual-to-auditory sensory substitution to create simulations about the referred topics. The research is of qualitative nature, classified as a study of case.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Homem cego reconhecendo a orientação de um objeto utilizando o programa The vOIce. ....	28
Figura 2 - Comparação entre a planta do prédio escolhido para o desenvolvimento do jogo (esquerda) e o mapa desenvolvido na plataforma AbES (direita). ....	29
Figura 3- Atividade cerebral dos jogadores cegos. ....	30
Figura 4 - Mapa virtual do jogo AudioDoom (esquerda) e representação em Lego do mapa por um jogador cego (direita). ....	30
Figura 5 – Estrutura da ação mediada. ....	32
Figura 6 – Configurações de linhas de campo elétrico. ....	36
Figura 7 - Circularidade para aplicação da AFH. ....	42
Figura 8 - Espaço virtual das simulações auditivas. ....	44
Figura 9 – Representação simplificada das linhas de campo entre dois corpos puntiformes carregados com cargas de sinais opostos. ....	47
Figura 10 – Automação de frequência e panorama estéreo do programa Reaper. ....	48
Figura 11 – Representações das linhas de campo elétrico elaboradas pelo participante “João”. ....	58
Figura 12 – Primeiro desenho feito por “João” ao ouvir a simulação descontextualizada das linhas de campo elétrico geradas por carga positiva. ....	59
Figura 13 – Segundo desenho feito por “João” ao ouvir a simulação descontextualizada das linhas de campo elétrico geradas por carga positiva. ....	59

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Síntese e características das linguagens geradoras de viabilidades comunicacionais apresentadas por Camargo (2012) .....	17
Quadro 2 – Tecnologias utilizadas nas pesquisas levantadas.....	19
Quadro 3 – Metodologia para aplicação da IES.	

## SUMÁRIO

SOBRE O PESQUISADOR .....	9
INTRODUÇÃO .....	11
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
1.1 ENSINO DE ELETROMAGNETISMO DE ESTUDANTES COM DEFICIÊNCIAS VISUAIS .....	15
1.2 ENSINO DE FÍSICA DE ALUNOS COM DEFICIÊNCIAS VISUAIS – ESTADO DO CONHECIMENTO.....	19
1.3 OBJETOS DE APRENDIZAGEM NO ENSINO DE FÍSICA E A BUSCA POR ACESSIBILIDADE .....	22
1.4 SUBSTITUIÇÕES SENSORIAIS.....	25
2 FORÇA ELÉTRICA E CAMPO ELÉTRICO.....	34
3 ABORDAGEM METODOLÓGICA .....	37
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA .....	37
3.2 ANÁLISE FENOMENOLÓGICA HERMENÊUTICA .....	40
3.3 DESENVOLVIMENTO DAS SIMULAÇÕES AUDITIVAS .....	44
3.4 BARREIRAS DAS SIMULAÇÕES AUDITIVAS.....	49
3.5 ORGANIZAÇÃO DAS AULAS EM ÁUDIO.....	50
3.6 ORGANIZAÇÃO DAS ENTREVISTAS .....	53
3.7 CARACTERIZAÇÃO DOS CASOS E REGISTRO DO FENÔMENO .....	54
3.7.1 CASO 1: “CELSO” .....	54
3.7.2 CASO 2: “JOÃO” .....	57
3.8 INTERPRETAÇÃO ESSENCIAL SINTÉTICA .....	60
4 CONSIDERAÇÕES e perspectivas.....	64
REFERÊNCIAS .....	66
ANEXO 1 – TRANSCRIÇÃO DAS ENTREVISTAS .....	69



## **SOBRE O PESQUISADOR**

Antes de iniciar o relatório desta pesquisa, entendo como necessário que o leitor saiba de onde falo – quais os meus ideais, motivações e objetivos, além daqueles estipulados especificamente para esta tese. Quem sou afeta diretamente aquilo que produzo, tanto na arte quanto na Ciência, pois só posso observar o mundo através do meu próprio olhar, tornando impossível e, a meu ver, indesejável um produto imparcial. Ainda, em consonância à essência da Análise Fenomenológica Hermenêutica, metodologia aplicada neste trabalho, eu faço parte dos fenômenos aqui analisados, o que torna este texto crucial para a compreensão plena das minhas análises.

Entendo a escola como um espaço de socialização em primeiro lugar, e como um espaço de aprendizagem em segundo lugar. Uma não é mais ou menos importante que outra, porém sem as interações sociais a escola perde a sua essência e se torna obsoleta, pois o conhecimento em pode facilmente ser encontrado em outros ambientes, físicos e virtuais. O que faz da escola um local especial é a interação com os pares, a discussão coletiva e o coleguismo em meio a busca pelo conhecimento acadêmico e não acadêmico; aqui, justifica-se a necessidade da acessibilidade.

Ninguém pode ser privado da plenitude da experiência escolar, plenitude esta alcançada, também, pela convivência com as diferenças: o estudante sem deficiência precisa conviver com o estudante com deficiência tanto quanto o contrário. Essa interação diversa só traz virtudes para a sociedade, faz com que nos conheçamos melhor, e a ignorância finda junto à intolerância.

O processo de inclusão é complexo e multifacetado. Como professor, me vejo responsável pelo que acontece dentro da minha sala de aula, não só em relação à aprendizagem, mas também ao bem-estar e ao desenvolvimento dos alunos como pessoas. Para que o estudante surdo sintasse incluído nas discussões e nos acontecimentos escolares, ele precisa entender o que o professor e seus colegas falam, contando com o auxílio de um intérprete; para que o estudante com deficiência motora sintasse a mesma felicidade e euforia que os demais em uma aula de Educação Física, é preciso uma atividade plenamente inclusiva; para que o estudante cego acompanhe uma aula de Física ou Matemática e possa participar das discussões com os colegas sobre os gráficos e diagramas de forças, ele precisa ver – seja por audiodescrição, figuras em alto-relevo ou outra tecnologia de substituição sensorial, como a que proponho aqui.

Os objetivos que defini para esta pesquisa estão relacionados diretamente à área da Física, por ser minha área de atuação, mas meu objetivo maior é encontrar um meio de tornar acessível qualquer material didático. A prática docente já é um desafio por si só, levando em conta a carga de trabalho e a dedicação do nosso tempo para executá-lo, então entendo que a acessibilidade só se tornará uma realidade se o professor estiver empossado de ferramentas simples e práticas. A elaboração de figuras em alto-relevo desenhadas com cola plástica para cada imagem a ser apresentada em sala de aula me soa como um trabalho exaustivo e infindável, e a audiodescrição suficientemente detalhada das linhas de campo elétrico de um par de cargas, impossível.

Esta pesquisa não soluciona o problema da acessibilidade para estudantes cegos e de baixa visão, mas apresenta um caminho interessante não explorado até então. Espero que a publicação deste trabalho desperte o interesse daqueles que pensam como eu, que pesquisadores e professores possam encontrar nos meus achados a inspiração para avançar em direção a escola acessível e inclusiva da qual precisamos com urgência.

## INTRODUÇÃO

A sala de aula deve ser para todos. A necessidade da adaptação dos ambientes escolares visando à inclusão de alunos com necessidades educacionais específicas é reconhecida pela União, que estabelece diretrizes para o melhor atendimento desses estudantes no Decreto nº 7.611, de 17 de novembro de 2011. O artigo primeiro do decreto (BRASIL, 2011) explicita os deveres do Estado com a educação especial, afirmando que deve ser garantido um sistema de educação inclusivo em todos os níveis, sem haver qualquer discriminação, baseado na igualdade de oportunidades. Afirma-se, ainda, que o atendimento especializado deve ser, preferencialmente, oferecido na rede regular de ensino, a qual terá apoio do Estado para realizar adaptações necessárias.

Ainda no mesmo diploma legal, o artigo terceiro dispõe sobre os objetivos do atendimento educacional especializado, afirma-se, no inciso III, o objetivo de “fomentar o desenvolvimento de recursos didáticos e pedagógicos que eliminem as barreiras no processo de ensino e aprendizagem”. Sobre o apoio técnico e financeiro a ser oferecido pela União, o artigo quinto destina recursos à implantação de salas de recursos multifuncionais, definidas como “ambientes dotados de equipamentos, mobiliários e materiais didáticos e pedagógicos para a oferta do atendimento educacional especializado”. Em relação aos recursos educacionais para a acessibilidade e a aprendizagem a serem produzidos e distribuídos, incluem-se “materiais didáticos e paradidáticos em Braille, áudio e Língua Brasileira de Sinais – LIBRAS, laptops com sintetizador de voz, softwares para comunicação alternativa e outras ajudas técnicas que possibilitam o acesso ao currículo.”

Com base nas informações apresentadas pode-se concluir que, além da necessidade de se desenvolver materiais de apoio para a inclusão de estudantes com necessidades especiais, existe a possibilidade de explorarmos o uso de recursos tecnológicos nas escolas para esse fim. Com relação aos estudantes com deficiências visuais – recorte adotado pela presente pesquisa –, a possibilidade de utilizar softwares para comunicação alternativa e sintetizador de voz permite que o professor explore recursos de caráter auditivo para facilitar a aprendizagem dos alunos. Em estudo anterior (PEREZ; ROCHA FILHO; LAHM, 2018), apresentamos que, dentre as teses e dissertações que contemplam experiências de ensino de Física estudantes com deficiências visuais realizadas nos últimos dez anos em contexto brasileiro, apenas uma pequena parte teve como foco experiências baseadas no sentido da audição. A maioria dessas pesquisas utiliza como principal recurso sensorial o tato, por meio da construção de maquetes,

figuras em alto-relevo e textos em Braille. Essas pesquisas apresentaram resultados positivos com relação à potencialidade de materiais táteis no processo de aprendizagem de alunos com deficiências visuais (AZEVEDO, 2012; MANSKE, 2013; MARTINS, 2013; VIVEIROS, 2013; FERREIRA, 2014; GROSSI, 2016; SANTOS, 2016; NANONE, 2017), porém o desenvolvimento de tais materiais em grande quantidade para uso individual dos estudantes, por exemplo, pode demandar dedicação de muito tempo por parte do docente, além da possível dificuldade no seu transporte, como no caso de maquetes.

Uma alternativa ao recurso experimental de materiais concretos é a adoção de objetos de aprendizagem (OA), que, além de reutilizáveis, não requerem transporte físico por parte do professor, uma vez que os alunos ou a escola sejam dotados de recursos computacionais. Entretanto, as simulações já disponíveis na *web* para o desenvolvimento de OA em sites especializados, como o *PhET Interactive Simulations*, são baseadas, na sua maioria, em representações visuais dos fenômenos explorados, o que impossibilita a interação de estudantes cegos com essas.

Para que um OA seja utilizado por um estudante com deficiência visual, deve estar baseado em recursos auditivos ou táteis. Uma possibilidade de interação tátil com OA é a utilização de *tablets* especializados, como o *Feelif*, porém o custo de um aparelho está entre 699,00 e 2.499,00 Euros (FEELIF, 2018). Para o uso de recursos auditivos, em contrapartida, pode-se utilizar qualquer dispositivo computacional capaz de reproduzir áudio, desde um *smartphone* até um computador convencional que não precisa ser adquirido pela escola ou pelo aluno para um único fim. A utilização de simulações baseadas em áudio, em pesquisas anteriores, mostrou-se eficaz no auxílio do desenvolvimento das habilidades de navegação de pessoas cegas (SÁNCHEZ et al., 2009; CONNORS et al., 2014), além de auxiliar na identificação de objetos de uso cotidiano (AUVRAY; HANNETON; O'REGAN, 2007).

As principais dificuldades enfrentadas por estudantes cegos são apontadas por Camargo (2012) e concernem a diversos tópicos tradicionalmente abordados nas aulas de Física no Brasil. Alguns dos obstáculos destacados pelo autor estão ligados à representação visual de fenômenos físicos, cujas descrições verbais feitas pelos professores não são suficientes para o entendimento dos alunos com deficiências visuais. Em relação aos conteúdos de Eletromagnetismo, o autor apresenta uma lista de dificuldades relacionadas ao aspecto visual das aulas, como o registro de carga elétrica e de seus sinais, direção e sentido de força elétrica, atração e repulsão elétricas, linhas de força do campo elétrico, representação de dipolo magnético, entre outros. Com base no exposto, trago como problema de pesquisa: **Quais as contribuições de um método de**

## **construção de conhecimentos sobre conceitos de Eletromagnetismo por meio de simulações auditivas para o ensino de estudantes com deficiência visual?**

O objetivo geral dessa pesquisa é **desenvolver um método de construção de conhecimentos sobre conceitos de Eletromagnetismo por meio de simulações auditivas**. Os objetivos específicos são:

- desenvolver códigos sonoros adequados ao ensino de Física capazes de propiciar a substituição sensorial visual-auditiva;
- representar as características imagéticas dos conceitos de força elétrica, campo elétrico e linhas de campo elétrico por meio de simulações auditivas;
- apresentar uma alternativa viável de acessibilidade de estudantes com deficiência visual a docentes da área da Física.

Esta tese está organizada em quatro capítulos: Fundamentação Teórica, Força Elétrica e Campo Elétrico, Abordagem Metodológica e Considerações finais. No primeiro capítulo apresento as bases teóricas necessárias para execução da pesquisa, subdivididas em quatro tópicos-chave: ensino de Eletromagnetismo de estudantes com deficiências visuais, em que trago a pesquisa de Camargo (2012) para discutir as dificuldades comunicacionais em sala de aula que afetam a aprendizagem desses estudantes; ensino de física de alunos com deficiências visuais – estado do conhecimento, onde discuto o levantamento de teses de dissertações sobre o assunto dos últimos 10 anos anteriormente realizado por nós em Perez, Rocha Filho e Lahm (2018); objetos de aprendizagem no ensino de Física e a busca por acessibilidade, em que apresento definições e critérios de caracterização e avaliação de objetos de aprendizagem, apoiados em diversos autores da área. Além disso, discuto o atual estado de repositórios de objetos online em relação à acessibilidade de estudantes cegos e de baixa visão; substituições sensoriais, em que discuto o conceito, apresentando pesquisas anteriores, em especial as que abordam a substituição sensorial visual-auditiva, conceito-chave para a elaboração dos objetos de aprendizagem desta pesquisa.

No segundo capítulo apresento os principais conceitos de Eletromagnetismo explorados nesta pesquisa, a força elétrica e o campo elétrico, além de um breve histórico do princípio dos estudos sobre o tema. Esse capítulo tem por objetivo contextualizar o leitor não iniciado na Física acerca dos conteúdos abordados nas aulas em áudio.

No terceiro capítulo relato todo o desenvolvimento prático desta pesquisa. Esse capítulo está subdividido em 8 tópicos: caracterização da pesquisa, em que trago as principais

características de pesquisas qualitativas do tipo estudo de caso, apoiado principalmente em Lüdke e André (1986); Análise Fenomenológica Hermenêutica, em que apresento os fundamentos dessa abordagem metodológica criada por Medeiros (2016), a qual adoto para esta pesquisa; desenvolvimento das simulações auditivas, em que mostro os princípios e o funcionamento do método de ensino criado por mim com base na substituição sensorial visual-auditiva; barreiras das simulações auditivas, em que discuto as limitações dessas simulações; organização das aulas em áudio, em que apresento a estrutura das aulas contendo as simulações auditivas e os seus conteúdos; organização das entrevistas, em que apresento a estrutura inicial das entrevistas realizadas com os participantes da pesquisa; caracterização dos casos e registro do fenômeno; em que apresento os dois participantes da pesquisa e relato as minhas percepções sobre as entrevistas realizadas com eles; Interpretação Essencial Sintética, em que apresento a minha interpretação sobre o fenômeno estudado nesta pesquisa.

Por fim, no quarto capítulo apresento as minhas considerações finais. Aqui busco retomar as bases teóricas desta pesquisa e discuto as possibilidades emergentes dela para avanço do conhecimento na área de acessibilidade de estudantes com deficiências visuais.

## 1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 1.1 ENSINO DE ELETROMAGNETISMO DE ESTUDANTES COM DEFICIÊNCIAS VISUAIS

Nesta seção, apresento as principais dificuldades e viabilidades para a inclusão de estudantes com deficiências visuais em aulas de Eletromagnetismo. Trago como principal fonte a obra de Eder Pires de Camargo (2012) devido à sua relevância. Nesta, o autor apresenta análises oriundas da observação de aula desenvolvidas por licenciandos em Física, aplicadas a uma turma em que estuda um aluno cego de nascimento. A obra contempla atividades de diversas áreas da Física, porém, aqui, tratarei apenas do capítulo referente ao Eletromagnetismo, sendo esse o tema foco da presente pesquisa.

Para avaliar a qualidade de participação do aluno cego nas atividades, Camargo (2012) caracteriza os tipos de linguagem utilizadas em sala de aula. No caso do Eletromagnetismo, as linguagens que causaram dificuldades para o aluno cego foram: 1 – audiovisual interdependente/significado vinculado às representações visuais, que ocorre quando se veicula informações visuais de forma verbal, como apontar para algo desenhado na lousa e dizer frases como “veja o comportamento deste gráfico aqui” ou “isso ocorre se eu aumentar a distância entre aquelas duas cargas elétricas ali em cima”; 2 – audiovisual interdependente/significado indissociável de representações visuais, que ocorre quando falamos, por exemplo, em fenômenos visuais da natureza na ilustração de conceitos, como o fenômeno das auroras; 3 – auditiva e visual independentes/significado vinculado às representações visuais, ilustrada pelo autor principalmente quando expressamos verbalmente números escritos em notação científica, como “cinco vezes dez elevado à quarta potência”. Essa frase expressa dois números, dez e quatro, escritos lado a lado, um grande e outro pequeno. Quando codificamos essa informação de forma verbal, presumimos que o receptor será capaz de decodificá-la novamente na forma visual; 4 – tátil-auditiva interdependente/significado indissociável de representações visuais. O autor se refere à essa última especificamente em uma experiência dos alunos cegos com um circuito real, cujo um dos elementos era uma lâmpada, a qual o licenciando conduzindo a atividade utilizou para ilustrar a transformação de energia elétrica em energia luminosa. O aluno cego é capaz de compreender a energia térmica emitida pela lâmpada ao aproximar suas mãos da mesma, porém o conceito de energia luminosa é indissociável de uma representação visual.

Por meio da análise das transcrições das aulas, o autor mostra que, na maioria das vezes, as dificuldades apresentadas pelo estudante cego de nascimento ocorreram devido a falhas na comunicação professor-aluno. Por vezes, o professor desenhava esquemas e escrevia equações na lousa, complementando a informação de forma verbal, conforme nota-se em trechos destacados pelo autor.

Aqui, convido o leitor a colocar-se no lugar do aluno cego. Para isso, observe a estrutura empírica da linguagem: ‘a equação característica do receptor é esta que eu vou escrever na lousa’, ‘na formação desse circuito aí’, ‘esse é um gráfico da tensão pela corrente’, ‘que se o U estivesse tudo aqui’, ‘essa inclinação aí o que ela representa’, ‘a tensão total menos a tensão que está em cima do receptor vai ser a tensão que está em cima da resistência’. O acesso às informações apresentadas somente pode se dar quando o receptor percebe simultaneamente os códigos auditivo e visual. (CAMARGO, 2012, p. 99)

A situação referida pelo autor é uma demonstração do perfil da linguagem 1, cuja característica peculiar é a indicação oral de registros visuais. Tal linguagem foi identificada como responsável por aproximadamente 97% das situações em que não houve entendimento do estudante cego; as outras três linguagens aparecem com, aproximadamente, 1% cada.

Com relação às viabilidades, mais dez linguagens utilizadas nas atividades foram identificadas pelo autor: 5 – fundamental auditiva/significado de relação sensorial secundária; 6 – tátil-auditiva interdependente/significado vinculado às representações não visuais; 7 – auditiva e visual independentes/significado de relação sensorial secundária; 8 – fundamental auditiva/significado vinculado às representações não visuais; 9 – auditiva e visual independentes/significado vinculado às representações não visuais; 10 – tátil-auditiva interdependente/significado indissociável de representações não visuais; 11 – auditiva e visual independentes/significado sem relação sensorial; 12 – fundamental auditiva/significado indissociável de representações não visuais; 13 – fundamental auditiva/significado sem relação sensorial; 14 – tátil-auditiva interdependente/significado de relação sensorial secundária. A seguir, apresento o Quadro 1 adaptado de Camargo (2012), para fins ilustrativos, indicando as incidências e características peculiares de cada linguagem observada em sua pesquisa, assim como o recurso instrucional utilizado nas situações de ocorrência delas.



Quadro 1 – Síntese e características das linguagens geradoras de viabilidades comunicacionais apresentadas por Camargo (2012)

<b>Linguagem</b>	<b>Incidência</b>	<b>Característica peculiar</b>	<b>Recurso instrucional mais empregado</b>
Linguagem 5	22%	Abordagem oral de significados de relacionabilidade sensorial secundária	Não utilizado
Linguagem 6	21%	Condução das mãos do aluno	Maquetes e equipamentos táteis
Linguagem 7	20%	Projeção e descrição oral de significados de relacionabilidade sensorial secundária	Data show, retroprojektor.
Linguagem 8	15%	Recorrência a “imagens não visuais mentais”	Não utilizado
Linguagem 9	8%	Indicar oralmente frases projetadas	Data show, retroprojektor, lousa.
Linguagem 10	4%	Observação não visual de fenômeno	Equipamentos táteis
Linguagem 11	4%	Indicar oralmente frases projetadas contendo significados sem relação sensorial	Data show, retroprojektor.
Linguagem 12	3%	Descrição oral de significados não visuais	Não utilizado
Linguagem 13	2%	Descrição oral de significados sem relação sensorial	Não utilizado
Linguagem 14	1%	Condução das mãos do aluno	Equipamentos táteis.

Fonte: Camargo (2012).

Para tratar, especificamente, do conceito a ser explorado pela presente tese, trago o trecho transcrito por Camargo (2012) para exemplificar a linguagem 13, o qual refere-se ao conceito de campo elétrico. No excerto, “E-4” é o licenciando conduzindo a atividade.

E-4: a noção de campo é uma coisa complicada, porque o campo não é uma coisa tátil, você não consegue pegar, você não consegue sentir, você não consegue ver. E-4: É uma coisa que está disperso, está no ar não é uma coisa que você tenha um contato direto. E-4: a gente sabe que existe o campo pelos efeitos que ele provoca nos objetos. (CAMARGO, 2012, p. 116)

Quando representamos o campo elétrico por meio de linhas de campo nas aulas de Física, estamos utilizando uma representação desenvolvida por pessoas videntes de algo que, de fato, não é visual. Como destacado pelo licenciando no excerto citado, o que podemos visualizar são os efeitos causados pelo campo elétrico em, por exemplo, cargas elétricas na presença deste. Para contornar essa dificuldade, podemos desenvolver outra forma de representar linhas de campo elétrico durante as aulas, sem a necessidade de recursos visuais. Proponho aqui a utilização de uma representação sonora, como será discutido e explicado no decorrer desta pesquisa.

A essência da busca, nesta pesquisa, é superar algumas das dificuldades de comunicação entre professores e alunos com deficiência visual durante as aulas de Física, pois acredito que esse é o primeiro passo para transformar a sala de aula em um espaço mais acessível a todos. Para tal, represento informações tipicamente visuais por meio de códigos sonoros, tornando-as acessíveis aos estudantes cegos. Dessa forma, será possível diminuir os obstáculos apresentados na utilização de linguagens vinculadas a informações visuais; entretanto, informações indissociáveis de representações visuais, como o conceito de energia luminosa, permanecem um desafio. Como o objetivo desta pesquisa baseia-se em dirimir as referidas barreiras de comunicação professor-aluno, não serão discutidas com profundidade as dificuldades de aprendizagem referentes aos tópicos abordados, de forma geral.

## 1. 2 ENSINO DE FÍSICA DE ALUNOS COM DEFICIÊNCIAS VISUAIS – ESTADO DO CONHECIMENTO

Em pesquisa anterior, apresentamos o estado do conhecimento referente a experiências em Ensino de Física para estudantes com deficiências visuais (PEREZ; ROCHA FILHO; LAHM, 2018). A pesquisa iniciou com um levantamento, encaminhado na Plataforma Sucupira, com os filtros “ensino de Física”, “cegos” e “baixa visão”, buscando teses e dissertações sobre o tema realizadas nos últimos dez anos. A partir dessa etapa, construímos o Quadro 2, no qual organizamos os trabalhos encontrados indicando autor, ano de publicação, tipo de tecnologia adotada – sendo “digital” aquelas baseadas em recursos computacionais e “analógica” quando baseadas em recursos físicos, como maquetes e figuras em alto-relevo. Além desses itens, destacamos o conteúdo de Física trabalhado e o tipo de sentido explorado (tato, paladar ou audição).

Quadro 2 – Tecnologias utilizadas nas pesquisas levantadas.

<b>Autor</b>	<b>Ano</b>	<b>Tipo de tecnologia adotada</b>	<b>Sentido explorado</b>	<b>Conteúdo</b>
Évelyn Marcia de Andrade	2011	Digital, analógica	Tato, paladar, audição	Ondulatória
Nair José de Oliveira Nanone	2017	Analógica	Tato	Astronomia
Edval Rodrigues de Viveiros	2013	Digital, analógica	Tato	Movimento
Maria do Carmo de Andrade Junqueira Grossi	2016	Digital, analógica	Tato	Termologia, Hidrostática, Ondulatória
Maurisete Fernando Ferreira	2014	Analógica	Tato	Óptica
Nivaldo Manske	2013	Analógica	Tato	Efeito fotoelétrico
Alexandre César Azevedo	2012	Analógica	Tato	Óptica
Alexandre de Oliveira Martins	2013	Analógica	Tato	Mecânica
Andre Luis Tato Luciano dos Santos	2016	Analógica	Tato	Ondulatória

Fábio Lombardo Evangelista	2008	Digital, analógica	Tato, audição	Circuitos elétricos
Julio Cesar Queiroz de Carvalho	2015	Digital	Audição	Linguagem matemática na Física

Fonte: Perez, Rocha Filho, Lahm (2018).

O Quadro 2 mostra que apenas três dos onze trabalhos encontrados apresentam a utilização de tecnologias que exploram o sentido da audição como foco das experiências realizadas. Os demais trabalhos focam no recurso de materiais táteis para representação e estudo de fenômenos físicos por parte dos estudantes com deficiências visuais. Nestes, a maioria das experiências desenvolvidas utilizam representações em alto-relevo de imagens bidimensionais, que demonstram fenômenos como o efeito fotoelétrico (MANSKE, 2013), ou formatos geométricos, como o geoide (NANONE, 2017). Outras pesquisas apresentam atividades pedagógicas baseadas, diretamente, no tato para a percepção dos fenômenos propriamente ditos, como tocar em uma corda através da qual se propaga uma onda mecânica (SANTOS, 2016). Outros trabalhos exploram a representação de fenômenos por meio de maquetes tridimensionais, como a representação de feixes de luz em fenômenos ligados à óptica (FERREIRA, 2014). De maneira secundária, todos os trabalhos apresentados anteriormente utilizam o sentido da audição no decorrer das atividades relatadas, seja para instruir os participantes por meio da comunicação verbal, seja durante a utilização de programas leitores de tela para o acesso por parte dos participantes a textos escritos. Nesses casos, a potencialidade pedagógica da exploração do sentido da audição não foi avaliada pelos autores das pesquisas.

A pesquisa de Évelyn Marcia de Andrade (2011), intitulada “Utilização da didática multissensorial no ensino de Física para alunos deficientes visuais”, apresenta duas experiências baseadas no sentido da audição para o estudo de ondas mecânicas, mais especificamente do som. A primeira experiência relatada é a utilização de um “telefone-com-fio”, que consiste em dois copos unidos por um barbante pelos quais os alunos poderiam se comunicar. A autora apresenta como objetivos demonstrar a propagação do som, a necessidade de um meio material para ondas mecânicas e o conceito de interferência, este último associado à ideia de que “qualquer objeto que impeça ou dificulte a propagação das ondas no barbante causa interferência na comunicação” (ANDRADE, 2011, p. 31). A segunda experiência auditiva apresentada pela autora foi a reprodução de um videoclipe em que havia o contraste entre uma voz grave e uma voz aguda, o que foi utilizado para abordar o conceito de frequência de uma onda sonora e a qualidade fisiológica ligada a esse conceito (percepção de altura do

som). A autora não apresentou conclusões específicas em relação à utilização do sentido da audição nas experiências relatadas, apenas conclusões gerais sobre o processo no todo.

A pesquisa realizada por Fábio Lombardo Evangelista (2008), cujo título é “o ensino de corrente elétrica a alunos com deficiência visual”, utiliza dispositivos elétricos sonoros, como um *buzzer* – aparelho emissor de som – e um rádio, para representar os efeitos da corrente elétrica em um circuito. Como a intensidade sonora de um *buzzer* é diretamente proporcional à corrente elétrica que o atravessa, o autor afirma que os estudantes foram capazes de relacionar o aumento da resistência elétrica de um circuito à diminuição da corrente elétrica por meio da variação da intensidade do som emitido pelo aparelho. Outros conceitos, como sentido da corrente elétrica e a ideia de circuitos elétricos abertos e fechados, foram explorados utilizando o mesmo aparelho.

O trabalho de Julio Cesar Queiroz de Carvalho (2015), intitulado “Ensino de Física e deficiência visual: Possibilidades do uso do computador no desenvolvimento da autonomia de alunos com deficiência visual no processo de inclusão escolar”, tem como foco melhorar a compreensão de expressões matemáticas utilizadas na Física quando essas são ouvidas pelos estudantes com deficiência visual. O autor propõe a utilização da linguagem de programação LaTeX juntamente a softwares leitores de tela. A escolha dessa linguagem pelo autor foi feita por apresentar expressões matemáticas de forma linear e “possuir códigos curtos e intuitivos, facilitando sua memorização e utilização” (CARVALHO, 2015, p. 8). O autor conclui que a utilização da linguagem LaTeX propiciou melhor compreensão de textos sobre Física que apresentam expressões matemáticas em sua estrutura.

A pesquisa ilustrada pelo Quadro 2 indica que existe uma preocupação dos pesquisadores da área de ensino de Física com a aprendizagem de estudantes com deficiências visuais; em contrapartida, percebemos que o sentido da audição tem sido pouco explorado na área. As duas próximas sessões apresentam, em conjunto, um possível caminho para explorar o sentido da audição no Ensino de estudantes com deficiência visual. A seção seguinte apresenta o conceito de objeto de aprendizagem, assim como uma lista de repositórios especializados, apontando as dificuldades encontradas quando se pretende utilizá-los em contexto de inclusão.

### 1.3 OBJETOS DE APRENDIZAGEM NO ENSINO DE FÍSICA E A BUSCA POR ACESSIBILIDADE

De forma breve, objetos de aprendizagem são materiais didáticos digitais de apoio à aprendizagem, conforme definido por Arantes, Miranda e Studart (2010). Wiley (2000) acrescenta o critério da reutilização e Koper (2003) acresce que o objeto deve ser reproduzível e “referenciável” (sic.). Os OA, hoje, têm papel fundamental no ensino de Física, pois, além de possibilitarem a substituição de experimentos reais por meio de simulações – o que dispensa o uso de materiais de alto custo, como, por exemplo, um tubo de raios catódicos –, também podem representar modelos de conceitos de nível microscópico, como a organização molecular de determinada substância, ou conceitos abstratos, como campo elétrico.

Sabatini (2012) apresenta, a partir de um estudo bibliográfico, uma série de critérios que caracterizam os objetos de aprendizagem, citando como exemplos:

1) reutilização, com a possibilidade de uso em diferentes contextos educativos, proporcionando eficiência econômica em sua preparação e desenvolvimento, 2) portabilidade, com disponibilidade de utilização através de diferentes plataformas técnicas, 3) modularidade, de forma que um objeto possa conter ou estar contido em outros objetos, com a perspectiva de combiná-los; 4) autossuficiência, no sentido de não depender de outros objetos para fazer sentido e 5) descritos por metadados, como por exemplo, autor, palavra-chave, criador/autor, idioma e objetivos educacionais (...). Essa distinção é necessária, uma vez que tecnicamente os objetos de aprendizagem podem assumir qualquer formato ou mídia, desde simples imagens, arquivos de texto ou apresentações de slides e chegando a objetos complexos como simulações de realidade virtual (SABATINI, 2012, p. 3).

Além dessas, o autor apresenta outras características, como o conceito de granularidade, que se refere ao tamanho – ou complexidade – do OA. Um objeto mais granular é menos complexo, ou apresenta-se em pequenas partes para que possa ser utilizado em diferentes contextos. A granularidade é essencial para a modularidade, uma vez que quanto menor for o objeto, maiores as possibilidades de combiná-lo com outros objetos no desenvolvimento de unidades de aprendizagem. Sabatini (2012) ainda afirma que a granularidade também favorece a neutralidade do OA, que permite ao docente adaptar o objeto de acordo com a sua intencionalidade pedagógica. O autor ainda aponta um “dilema” (sic.) em relação à granularidade: quanto mais granular for o objeto, mais reutilizável ele é, porém possui menos valor pedagógico devido à simplicidade intrínseca à granularidade. Já um OA mais complexo – menos granular –, possui maior valor pedagógico e sua adoção, por parte do professor, é mais

simples, considerando que não necessita dedicar tempo à montagem de uma atividade. Entretanto, a complexidade torna o OA menos reutilizável e menos personalizável, ligado, quase que exclusivamente, ao contexto para o qual foi originalmente desenvolvido.

Outra contrapartida da granularidade é a necessidade de o professor estar devidamente capacitado para o desenvolvimento de unidades de aprendizagem, sendo capaz de explorar a modularidade e combinar diferentes OA – ou diversas partes do mesmo – e desenvolver atividades para o contexto que deseja. Outro problema que pode decorrer do baixo valor pedagógico associado à granularidade é a utilização dos objetos em um contexto instrutivista ou tecnicista, em vez de valer-se de teorias da aprendizagem como o construtivismo e a aprendizagem significativa, ainda segundo o autor. Quando o objeto é complexo, por consequência, é menos neutro, o que dá menos liberdade ao professor, estando sujeito ao paradigma de quem o desenvolveu.

O autor aponta que repositórios de OA estão desenvolvendo critérios de avaliação de objetos de aprendizagem, como o *Gateway to Educational Materials* (GEM), sigla para “Portal de Materiais Educacionais” (tradução livre). O GEM apresenta seis fatores para a avaliação de um OA.

(...) a **precisão** diz respeito à confiabilidade e à validade da informação, de forma que os fatos sejam apresentados de maneira imparcial e atualizada. A **conveniência** se relaciona com a noção de que os conceitos utilizados devem ser apropriados para o nível do aprendiz e a informação adequada ao tema proposto. A **claridade** deve estar presente nos objetivos, nos métodos, nos procedimentos e na forma de avaliar. Já a **plenitude** consiste na cobertura da informação mais fundamental de cada assunto, além da indicação de quais pré-requisitos e que materiais adicionais serão necessários. A **motivação** é relacionada com a participação ativa do aprendiz, na medida em que as atividades propostas sejam desafiadoras ou atrativas, construídas sobre o conhecimento prévio e promotoras de participação significativa. A **organização do recurso**, por sua vez, deve refletir um desenvolvimento lógico das atividades. Por último, uma categoria de **avaliação geral** descreve a qualidade global do recurso avaliado, com base nos seis itens anteriores (SABATINI, 2012, p. 14, grifo do autor).

Existem diversos OA disponíveis de forma gratuita na web, incluindo animações, simulações manipuláveis, áudios, entre outros. Com relação a simulações, podemos destacar plataformas estrangeiras como PhET<sup>1</sup> (*Physics Interactive Simulations*), MERLOT<sup>2</sup> (*Multimedia*

<sup>1</sup> Disponível em: <https://phet.colorado.edu> . Acesso em: 04 dez. 2020.

<sup>2</sup> Disponível em: <https://www.merlot.org> . Acesso em: 04 dez. 2020.

*Educational Resource for Learning and Online Teaching*), ComPADRE<sup>3</sup> (*Physics and Astronomy Educational Communities*). No Brasil, temos a plataforma desenvolvida pelo MEC e pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), denominada BIOE<sup>4</sup> (Banco Internacional de Objetos Educacionais), o ACESSA FÍSICA<sup>5</sup> e o PÍON<sup>6</sup>.

As simulações presentes nos bancos de OA citados, em sua maioria, baseiam-se exclusivamente em estímulos visuais – são representações gráficas dos fenômenos abordados. A única exceção no grupo são as quinze simulações acessíveis disponibilizadas pelo PhET, ainda em fase de desenvolvimento, que apresentam recursos de caráter auditivo. O site apresenta quatro tipos de recurso para promover a acessibilidade: *alternative input* (entrada alternativa), que permite utilizar o teclado ao invés do mouse para navegação na simulação; *simple description* (descrição simples), que utiliza de um sistema de leitura de tela para descrever ícones e imagens estáticas que não se alteram ao longo da simulação; *dynamic description* (descrição dinâmica), que descreve o que ocorre na simulação conforme o usuário interage com seus recursos; *sonification* (sonorização), que associa combinações de sons a determinados fenômenos físicos ou parâmetros matemáticos representados pela simulação – por exemplo, o som de tambores tornando-se mais agudo é associado ao aumento da intensidade da corrente elétrica em uma das simulações. Nem todas as simulações no banco de simulações acessíveis da plataforma apresentam todos os recursos, a maioria oferece a utilização de um ou dois dos citados a cima.

Caso um professor deseje desenvolver atividades utilizando simulações como objetos de aprendizagem hoje, encontrará um obstáculo para a inclusão de alunos com deficiências visuais. A escassez de recursos digitais acessíveis faz com que o professor recorra à utilização de materiais concretos como maquetes e figuras em alto-relevo, o que tornará o processo de planejamento das aulas mais demorado e cansativo; nesse cenário, é possível que o professor opte por não realizar a atividade diferenciada e retorne ao método expositivo.

Dentre os recursos oferecidos pelo PhET, destaco aquele denominado sonorização. Ainda que haja poucas simulações e o recurso não seja explorado ao máximo de sua capacidade, esse tipo de simulação permite a compreensão espacial qualitativa e quantitativa do que está

<sup>3</sup> Disponível em: <https://www.compadre.org> . Acesso em: 04 dez. 2020.

<sup>4</sup> Disponível em: <http://objetoseducacionais.mec.gov.br> . Acesso em: 04 dez. 2020.

<sup>5</sup> Disponível em: [http://34.196.161.148/acessa\\_fisica](http://34.196.161.148/acessa_fisica) . Acesso em: 04 dez. 2020.

<sup>6</sup> Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/v1/novopion> . Acesso em: 04 dez. 2020.



ocorrendo na simulação por meio de uma substituição sensorial. A seção seguinte apresenta potencialidades de tecnologias auditivas em experiências de substituição sensorial, conceito a ser definido ao início do texto. Pretendo, com essa seção, mostrar que a substituição visual-auditiva pode servir como alternativa para o desenvolvimento de recursos didáticos para o ensino de conceitos da Física, abrindo possibilidades para professores da área que lidam com estudantes cegos e de baixa visão. Apresento pesquisas realizadas com o objetivo de desenvolver e testar tecnologias de acessibilidade por meio de processos de substituição sensorial. Pretendo, então, mostrar o potencial dos recursos adotados pelas referidas pesquisas para o desenvolvimento de materiais didáticos para o ensino de Física.

#### 1.4 SUBSTITUIÇÕES SENSORIAIS

O conceito de substituição sensorial consiste na transmissão de informações tipicamente provenientes de um sentido – como a visão – utilizando outro sentido, como a audição (DURETTE et al., 2008). A escrita pode ser considerada como uma forma de substituição sensorial, uma vez que as palavras são originalmente estímulos auditivos que, quando escritas, são traduzidas para estímulos de caráter visual (BACH-Y-RITA; KERCEL, 2003). De maneira equivalente, a escrita em Braille possibilita a compreensão de textos a partir de um estímulo tátil. A substituição sensorial está relacionada à atribuição distal, que pode ser definida como a habilidade de atribuir a causa de um estímulo sensorial proximal a um objeto externo distinto (AUVRAY et al., 2005). Um exemplo simples de atribuição distal ocorre quando relacionamos o latido de um cachorro percebido com mais intensidade em nossa orelha esquerda à presença do animal nessa direção. Testes de substituição sensorial – que serão discutidos nesta seção – mostram a capacidade do ser humano em fazer a correlação direta entre um estímulo provindo de um objeto e a existência desse objeto.

Equipamentos capazes de realizar substituições sensoriais têm sido desenvolvidos ao longo dos anos, desde um experimento realizado em 1969 por Bach-y-Ritta e outros em que imagens captadas por uma câmera eram traduzidas para um sistema de pinos que vibravam de acordo com o pixel que representavam. O sistema de pinos foi instalado no encosto de uma cadeira de dentista, de forma que os sujeitos da pesquisa sentiam a vibração dos pinos em suas costas. Após horas de treino e experimentação com o dispositivo, além de serem capazes de identificar objetos e pessoas, distinguindo traços específicos como o uso de óculos ou o

comprimento do cabelo, os sujeitos cegos afirmaram perceber o estímulo recebido não mais vindo de suas costas, mas diretamente do objeto posicionado em frente à câmera (BACH-Y-RITA et al., 1969). Ainda na perspectiva da substituição visual-tátil, dispositivos como os *tablets* da empresa WEB4, denominados *Feelif*, estão sendo desenvolvidos e disponibilizados para venda. Os *tablets* funcionam a partir da mesma ideia de pinos vibratórios, porém a interação é feita com as mãos. Este tipo de tecnologia permite o acesso de pessoas com deficiência visual a conteúdos digitais, incluindo imagens e, em alguns casos, jogos virtuais.

Com relação à substituição visual-auditiva, a tecnologia de leitura de tela em computadores possibilitou o acesso a textos digitais para pessoas cegas; entretanto, conteúdos como imagens, de caráter exclusivamente visual, não podem ser descritos pelos programas leitores de tela. Nas últimas duas décadas, pesquisas que buscam sanar esse obstáculo vêm sendo desenvolvidas, principalmente por meio de codificação de imagens em áudio para auxílio em tarefas de navegação (como locomover-se em um prédio) e identificação de objetos do dia a dia.

Podemos denominar imageamento auditivo a criação de ilusões sonoras por meio da manipulação dos canais estéreos de um sistema de som (COHEN; WENZEL, 1995). Em uma gravação musical, pode-se utilizar a variação desse panorama estéreo para distinguir os instrumentos que tocam simultaneamente, e até criar a ilusão do posicionamento desses quando escutamos a música. Por exemplo, ouvir o som de uma guitarra em nossa orelha esquerda nos dá a impressão de que a guitarra está posicionada à nossa esquerda. Essa impressão parte das nossas experiências cotidianas; quando ouvimos um som vindo com mais intensidade de certa direção, cremos que a fonte de tal informação sonora está vindo de lá.

Além do posicionamento de uma fonte sonora, somos capazes de interpretar outras qualidades fisiológicas do som, como o timbre, a altura e a intensidade sonora. As pesquisas apresentadas a seguir utilizam-se desse conjunto de fatores para o desenvolvimento de simulações auditivas baseadas na substituição sensorial visual-auditiva, codificando imagens em sons.

Auvray, Hanneton e O'regan (2007) realizaram experimentos com o programa computacional *The vOIce*, desenvolvido por Meijer (1992), programa capaz de codificar imagens em estímulos auditivos no intuito de testar a capacidade dos participantes videntes de localizar e identificar objetos. Utilizando fones de ouvido estéreo, imagens captadas por uma câmera portátil carregada pelos participantes eram transformadas em representações auditivas por meio do *software The vOIce*. O programa representa pontos na direção horizontal por meio

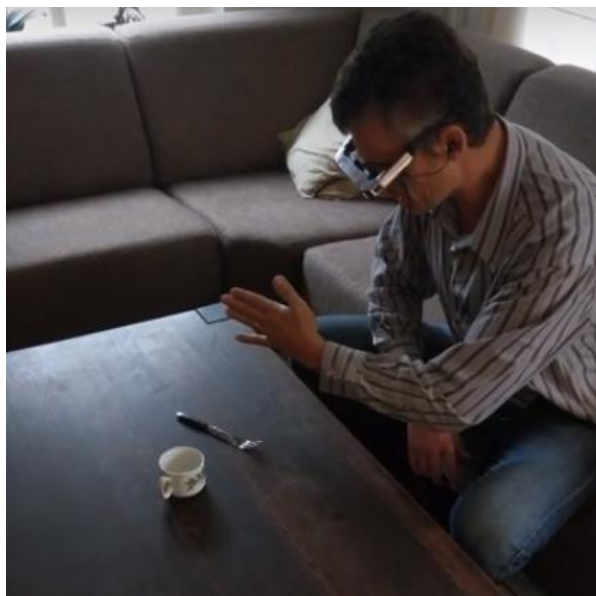
de sons que percorrem de um fone ao outro, pontos na direção vertical por meio de variações na frequência sonora em uma escala exponencial que parte de sons graves (mínimo de 500 Hz) para representar pontos baixos e sons agudos (máximo de 5000 Hz) para representar pontos altos. A representação de brilho ocorre por meio de uma escala de intensidade sonora, onde silêncio representa preto, um som intenso representa branco e sons de intensidade intermediária correspondem a tons da escala de cinza.

Nos testes de localização realizados por Auvray, Hanneton e O'regan (2007), os participantes foram capazes de localizar objetos pretos em uma sala branca, e nos testes de identificação de objetos, os participantes foram capazes de reconhecer dez objetos de uso cotidiano. O estudo ainda indicou que a facilidade dos participantes em identificar os objetos escolhidos para o teste aumentou significativamente ao longo do tempo de duração dos testes.

Em outro estudo utilizando o sistema *The vOIce*, Auvray et al. (2005) equiparam sujeitos videntes com fones de ouvido com uma câmera acoplada na parte superior, sem que esses soubessem que utilizavam o *software*. Os sujeitos desconheciam o programa em questão e foram vendados para o experimento. Os testes conduzidos pelos pesquisadores consistiam em posicionar os participantes da pesquisa em uma sala contendo um objeto luminoso. O objetivo da pesquisa era saber se os participantes fariam uma correlação entre os seus movimentos – e por consequência, a câmera – com a variação nos sons emitidos pelos fones de ouvido e se seriam capazes de perceber a presença do objeto luminoso. Os resultados apontam que, mesmo sem conhecer *a priori* os códigos adotados para a tradução auditiva de imagens, o processo de atribuição distal ocorreu com os participantes da pesquisa.

As pesquisas disponíveis na literatura utilizando o sistema *The vOIce* carecem de experiências com sujeitos cegos. Entretanto, um canal na plataforma *Youtube*, “*seeingwithsound*”, apresenta uma série de vídeos de pessoas cegas utilizando o programa para diversas atividades, desde o reconhecimento de objetos a experiências de navegação. Nos vídeos, gravados ao longo dos últimos 10 anos, os indivíduos apresentam sucesso na realização de suas atividades, como é ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Homem cego reconhecendo a orientação de um objeto utilizando o programa The vOIce.



Fonte: seeingwithsound (2017).

A representação auditiva de objetos concretos também foi explorada em experimentos realizados por Connors et al. (2014), no intuito de aprimorar habilidades de navegação e cognição espacial de adolescentes cegos com idades entre 16 e 17 anos. Para a pesquisa, foi desenvolvido um jogo virtual de ação utilizando o programa *Audio-based Environment Simulator* (AbES), que utiliza fones de ouvido estéreo para transmitir as informações auditivas e um teclado de computador para navegação e ações dos participantes.

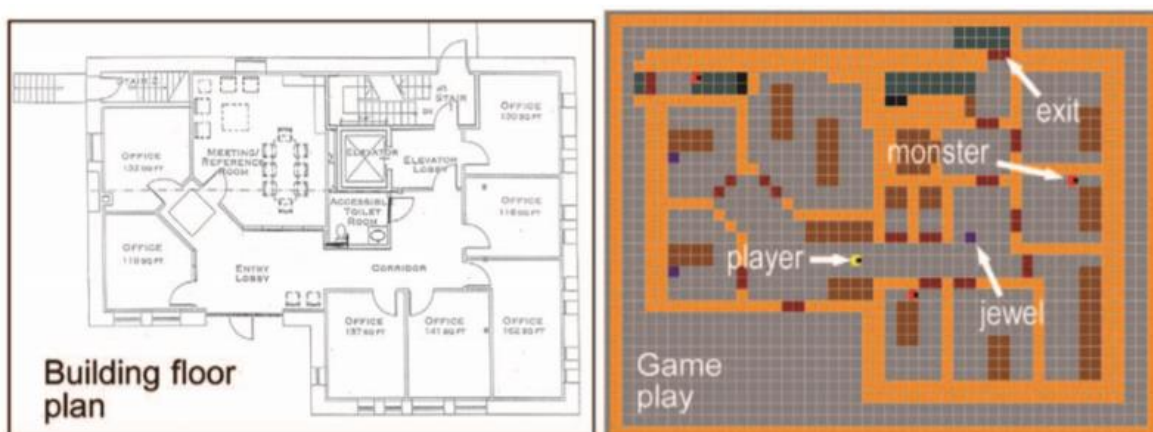
Os ambientes virtuais representados pelo AbES consistem em elementos estruturais como paredes, escadas e salas, além de objetos como portas e mesas. Para a representação de tais estruturas físicas, códigos sonoros foram associados a cada uma delas, como o som de alguém batendo em uma porta para representar a presença de uma porta nas proximidades do jogador. Caso o som seja escutado no fone esquerdo do participante, significa que o objeto se encontra à sua esquerda, se o jogador rotacionar virtualmente 180 graus, o mesmo som será ouvido no fone direito e, caso o objeto encontre-se diretamente à frente do participante, o som será ouvido com igual intensidade nos dois fones de ouvido.

A proximidade de um objeto é representada pelo programa por meio de modulações na intensidade sonora do som associado, no qual um som intenso representa um objeto perto do

participante e um som fraco representa um objeto distante. A posição vertical de objetos é representada por uma escala de frequências, que, assim como adotado por Auvray, Hanneton e O'regan (2007), utiliza de sons agudos para representar pontos mais altos e sons graves para pontos mais baixos.

A dinâmica do jogo desenvolvido para a pesquisa (CONNORS et al., 2014) consiste em navegar pela planta de um prédio em busca de “joias” escondidas em salas, enquanto o participante deve fugir de “monstros”, representados por sons de passos, que tentam roubar as joias coletadas. O mapa do jogo foi inspirado na planta de um edifício real mantendo as proporções, fato inicialmente desconhecido pelos participantes (Figura 2).

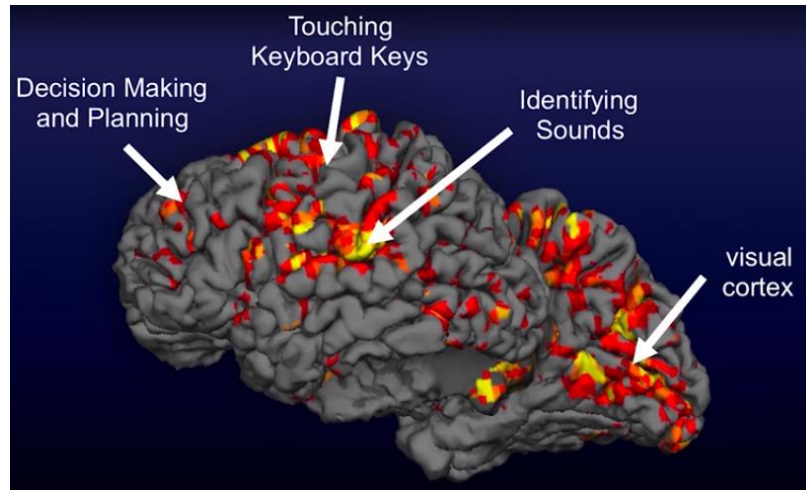
Figura 2 - Comparação entre a planta do prédio escolhido para o desenvolvimento do jogo (esquerda) e o mapa desenvolvido na plataforma AbES (direita).



Fonte: Merabet et al. (2012).

Após os participantes jogarem o jogo durante três sessões de 30 minutos, foram levados ao prédio de fato para que realizassem tarefas, como encontrar a saída a partir de uma localização qualquer. Os resultados dessa experiência mostram que os participantes foram capazes de realizar as tarefas, o que fez os pesquisadores concluírem que os participantes foram capazes de construir mapas mentais a partir da experimentação com o jogo. Os jogadores com melhor desempenho durante a pesquisa foram analisados por uma máquina de imagem por ressonância magnética funcional (Figura 3). Merabet (2014) mostra que, dentre as áreas do cérebro ativas durante a experiência dos jogadores, houve atividade no córtex visual, responsável pelo processamento de informações visuais.

Figura 3- Atividade cerebral dos jogadores cegos.



Fonte: Merabet (2014).

Em uma pesquisa anterior, Sanchez e Merabet (2009) desenvolveram um jogo chamado *AudioDoom*, utilizando os mesmos códigos de representação auditiva anteriormente descritos aqui. Após a interação com o jogo, sete participantes de idades entre oito e onze anos foram capazes de reconstruir o mapa virtual criado para o jogo utilizando peças de Lego (Figura 4).

Figura 4 - Mapa virtual do jogo AudioDoom (esquerda) e representação em Lego do mapa por um jogador cego (direita).



Fonte: Merabet e Sánchez (2009).



Juntamente, as pesquisas aqui descritas até então apontam a capacidade de pessoas videntes e cegas de compreenderem espaços físicos e objetos reais por meio de representações auditivas. Baseado nas experiências relatadas nesta seção, irei desenvolver um sistema de códigos sonoros para representação auditiva de imagens, utilizando o conceito da substituição sensorial visual-auditiva.

A capacidade dos sujeitos das pesquisas acima citadas em reconhecer espaços e objetos relaciona-se ao desenvolvimento de representações mentais. Quando um ser humano vidente conhece um lugar novo, como um prédio ou uma sala, ele passa a elaborar um mapa mental da localidade por meio de, principalmente, estímulos visuais – observamos estruturas como escadas, janelas, portas, medimos distâncias baseando-nos no tamanho aparente que vemos essas estruturas, entre outros estímulos. Assim, se solicitarmos a uma pessoa vidente que desenhe um mapa que represente um ambiente com o qual está habituada, como a sua casa, ela conseguirá realizar a tarefa, talvez com certa imprecisão de escala, porém retratado satisfatoriamente o local em questão. Fazemos o mesmo com o reconhecimento de objetos: memorizamos luz, sombra, contraste, formas e cores.

A pessoa cega também desenvolve representações mentais dos aspectos materiais do mundo, porém utilizando de outros estímulos para tal. Distâncias e escalas são percebidas por número estimado de passos, tempo para percorrer dado trajeto. A identificação da presença de estruturas físicas ocorre de maneira háptica, seja por meio do toque direto ou do contato com uma bengala. A forma como o som ecoa em cada direção e a sua reverberação podem fornecer uma noção geral das dimensões do ambiente onde a pessoa está, diferenciar uma sala vazia de um ambiente repleto de objetos e outras pessoas. Assim, se solicitarmos a uma pessoa cega para desenhar (ou esculpir em massa de modelar, por exemplo) o mapa de um local com o qual esteja habituada, a tarefa será realizada assim como feito pela pessoa vidente. O mesmo ocorre com o reconhecimento de objetos: desenvolve-se uma representação mental da estrutura por meio do tato que pode ser reproduzida de forma concreta ou acionada no reconhecimento da mesma estrutura ou similar, como apontam os estudos descritos na seção anterior.

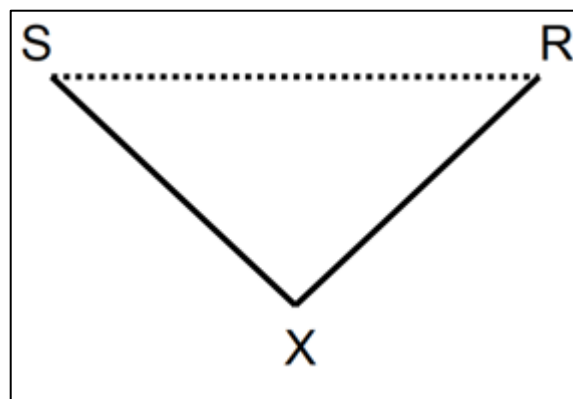
A experiência ao longo da vida de um indivíduo, segundo Vygotsky (1991), no estudo das funções psicológicas superiores, ou funções mentais complexas, faz com que esse desenvolva signos internos para a constituição de representações mentais, tornando-o capaz de remontar espaços físicos e situações mentalmente, propiciando planejamento de ações sem que haja a necessidade de um novo contato material com dado ambiente ou objeto naquele instante.

Como explica Vygotsky (1991, p. 23), esse processo de internalização está diretamente ligado ao desenvolvimento da linguagem.

[...] as crianças adquirem independência em relação ao seu ambiente concreto imediato; elas deixam de agir em função do espaço imediato e evidente. Uma vez que as crianças aprendem a usar, efetivamente, a função planejadora de sua linguagem, o seu campo psicológico muda radicalmente. Uma visão do futuro é, agora, parte integrante de suas abordagens ao ambiente imediato.

O processo de identificação de objetos ocorre por meio da memória mediada, segundo o autor, no qual a relação entre estímulo – ver um objeto – e resposta – identificá-lo como uma cadeira, por exemplo – ocorre de maneira mediada. Essa mediação se dá por meio de signos internos constituídos, por exemplo, quando conhecemos e rotulamos objetos. A relação entre estímulo (S), resposta (R) e signo (X), é representada por Vygotsky pela Figura (5).

Figura 5 – Estrutura da ação mediada



Fonte: Vygotsky (1991).

No que se refere à substituição sensorial, a experimentação com a codificação sonora de elementos imagéticos faz com que passemos a criar signos novos, mediadores do processo de reconhecimento de objetos e estruturas, pois associamos a matéria a novos estímulos. Mesmo no caso de pessoas cegas, que já associam estímulos sonoros a objetos concretos de forma mais ampla do que as pessoas videntes, os significados atribuídos a cada estímulo sonoro nos experimentos das pesquisas relatadas nesta seção não são, necessariamente, intuitivos aos sujeitos. A relação entre intensidade sonora e distância da fonte, por exemplo, já é compreendida pelo ser humano devido ao que se experimenta no cotidiano, porém, quando



associamos a frequência do som à posição vertical de objetos codificados em áudio, como é o caso do software *The vOIce* e da plataforma AbES, é necessário desenvolver uma nova relação mental entre o estímulo e a resposta esperada.

## 2 FORÇA ELÉTRICA E CAMPO ELÉTRICO

Neste capítulo apresento os conceitos do Eletromagnetismo que são abordados nas simulações auditivas desenvolvidas nesta pesquisa. O nível de aprofundamento dos conceitos baseia-se na abordagem encontrada em livros didáticos do Ensino Médio, uma vez que o foco da pesquisa é a acessibilidade de estudantes cegos e de baixa visão aos conteúdos da Educação Básica. Contudo, destaco que as dificuldades conceituais aqui destacadas também são observadas em estudantes universitários, como será brevemente discutido.

A carga elétrica, uma das propriedades intrínsecas da matéria, foi primeiramente estudada por Tales de Mileto no século VI a.C., por meio da observação de fragmentos de âmbar (em grego, chamado de *elektron*). Tales percebeu que, após ser atritado com alguns materiais, o âmbar possuía a propriedade de atrair pequenas partículas ao seu redor. O filósofo relacionou esse fenômeno com o que ocorre com a magnetita, que atrai alguns objetos metálicos em suas proximidades, com a diferença de que após algum tempo o âmbar perdia o seu poder de atração, ao contrário da magnetita.

Posteriormente denominamos o fenômeno que ocorria com o âmbar de eletricidade, associando-a diretamente com as cargas elétricas, sendo essas de duas naturezas: positiva e negativa. Segundo a Lei de Dufay, cargas de mesmo sinal se repelem e cargas de sinal oposto se atraem. Vale destacar que originalmente Dufay chamava as cargas de “vítrea” e “resinosa”, devido ao que ocorria quando se atritava um bastão de vidro com um pedaço de seda. Mais tarde, Benjamin Franklin foi o primeiro a utilizar as palavras carga "positiva" para a carga "vítrea" e carga "negativa" para carga “resinosa”. Essa atração e repulsão considerando cargas puntiformes, resultado da força elétrica, é matematicamente explicada por meio da Lei de Coulomb:

$$F_e = \frac{k \cdot |q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$$

Onde  $F_e$  é o módulo da força elétrica, expresso em newton (N);  $k$  é a Constante de Coulomb para o vácuo:  $k \approx 8,89 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$  (newton vezes metro-quadrado por coulomb-

quadrado);  $|q_1|e|q_2|$  são os módulos das cargas elétricas, expressos em coulomb (C);  $r$  é a distância entre as cargas elétricas, expressa em metros (m).

Charles Coulomb tratava a força elétrica como sendo uma ação à distância, assim como Isaac Newton considerava a força gravitacional. De forma elementar, elaborou-se o conceito de campo elétrico para definir o módulo, a direção e o sentido da força elétrica que uma carga puntiforme sofreria caso posicionada nas imediações da carga geradora do campo. Podemos equacionar esse campo elétrico da seguinte maneira:

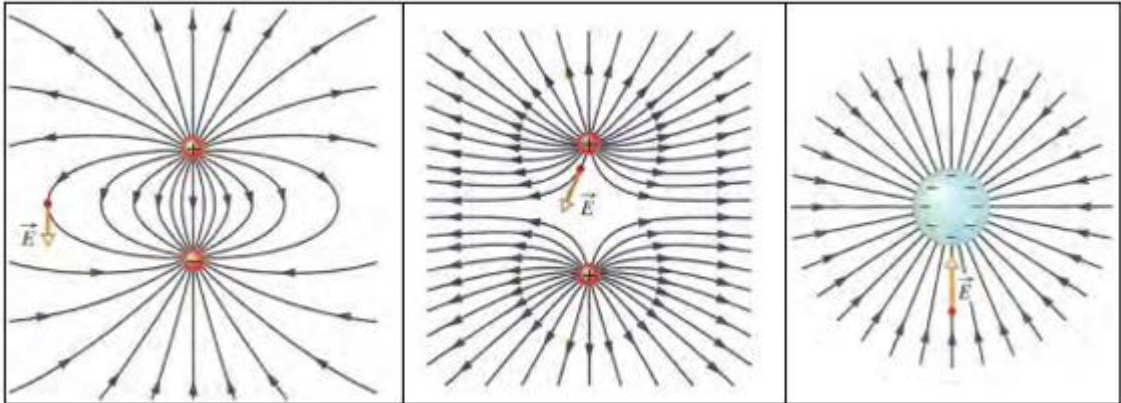
$$E = \frac{k \cdot |Q|}{r^2}$$

Onde  $E$  é o módulo do campo elétrico, medido em newton por coulomb (N/C);  $k$  é a Constante de Coulomb;  $Q$  é a carga geradora do campo elétrico e  $r$  é a distância entre a carga geradora e o ponto onde pretende-se calcular o campo elétrico.

As dificuldades de aprendizagem do conceito de campo elétrico no Ensino Médio, por vezes, são associadas à abstração necessária para a sua compreensão. Ainda, os próprios manuais e livros didáticos apresentam o conceito de forma polissêmica (KRAPAS; SILVA, 2008). Alunos de cursos de nível superior também apresentam essas dificuldades, principalmente na diferenciação entre um modelo para explicação da força elétrica como ação à distância coulombiano (newtoniano) e o de ação mediada, este compatível com as interpretações de Maxwell para o Eletromagnetismo (FURIÓ; GUIASOLA, 2001).

Para representar o campo elétrico em uma região, é comum a utilização das linhas de campo elétrico. Essas representam o comportamento vetorial da grandeza  $e$ , de forma qualitativa, a sua magnitude em diferentes pontos do espaço, por meio da análise da densidade de linhas de campo em dada região. É possível, de forma verbal, expor o conceito de campo elétrico, até mesmo explicar o que as linhas de campo representam; entretanto, a configuração das linhas necessita de alguma representação não verbal. Tradicionalmente, professores de Física apresentam representações visuais de linhas de campo, seja por meio de desenhos na lousa ou pela indicação de imagens no livro didático, como apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Configurações de linhas de campo elétrico



Da esquerda para direita: corpos carregados com cargas de sinais opostos, corpos carregados com cargas de mesmo sinal e corpo carregado com carga negativa.

Fonte: Halliday e Resnick (2012).

Proponho, nesta pesquisa, uma forma de representar as linhas de campo ilustradas na Figura 6 por meio de simulações baseadas na substituição sensorial visual-auditiva, o que culminou no desenvolvimento de um método de ensino do conceito de campo elétrico para estudantes com deficiência visual. As etapas de desenvolvimento das simulações e do objeto de aprendizagem constituído por elas serão explicadas no capítulo seguinte.

### 3 ABORDAGEM METODOLÓGICA

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa é de caráter qualitativo, do tipo estudo de casos múltiplos, pois serão analisadas as interações de cada sujeito da pesquisa com os materiais desenvolvidos, identificando facilidades e dificuldades dos mesmos durante seu processo de aprendizagem. O estudo de caso se caracteriza “pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira a permitir conhecimento amplo e detalhado do mesmo” (GIL, 2008, p. 79). Esse delineamento de pesquisa, segundo Gil (2008), apresenta certas limitações quando tratamos de generalizações. No caso da presente pesquisa, tratarei do processo de aprendizagem de estudantes cegos e de baixa visão.

Os resultados aqui obtidos não podem levar à conclusão definitiva sobre a eficiência do método desenvolvido para a aprendizagem de todos os estudantes, porém apresentam uma possibilidade viável para ser aplicada em sala de aula a fim de transformar este ambiente em um espaço inclusivo de ensino. Como já apresentei anteriormente, a substituição sensorial visual-auditiva não é algo que acontece exclusivamente com cegos, de acordo com a pesquisa realizada por Auvray et al. (2005) e Auvray, Hanneton e O'regan (2007). Desta forma, é possível para o professor que busca tornar suas aulas inclusivas utilizar simulações auditivas para o ensino de todos os alunos, cegos e videntes.

Esta pesquisa, aprovada pelo Comitê de Ética da PUCRS em parecer consubstanciado de número 3.751.116, teve seu segmento prático realizado durante a pandemia de COVID-19; por este motivo, a fim de zelar pela saúde dos participantes, tanto a experiência destes com os materiais quanto as entrevistas foram realizadas à distância. Participaram da pesquisa dois estudantes, um cego e um vidente. Idealmente, haveria um terceiro participante com baixa visão, porém as circunstâncias anteriormente apresentadas impossibilitaram a participação deste estudante. Apesar disso, acredito que o sucesso das atividades com os estudantes cego e vidente apontem para a eficácia dos materiais no processo de aprendizagem de estudantes com baixa visão. Assim sendo, esta pesquisa aborda o estudo de dois casos.

A opção pela inclusão do participante vidente na pesquisa parte da intenção de mostrar que este tipo de adaptação não funciona exclusivamente com pessoas cegas. Não é necessário realizar as atividades com os estudantes com deficiência visual em momento separado da aula regular; é possível integrar os materiais aqui desenvolvidos ao cotidiano escolar, sem apresentar qualquer tipo de dano à aprendizagem dos estudantes videntes.

Lüdke e André (1986) destacam as principais características de um estudo de caso qualitativo – ou naturalístico, como denominam as autoras. Primeiramente, o estudo de caso visa à descoberta. Espera-se que o pesquisador possua pressupostos teóricos anteriores à realização da pesquisa, porém, nesse tipo de trabalho, deve estar aberto e atento a possíveis novos elementos que possam emergir no decorrer do estudo. A estrutura inicial serve, então, como um “esqueleto” (sic.) ou guia para o desenvolvimento da pesquisa, ao qual serão incorporados os novos elementos conforme o avanço do trabalho.

Essa característica se fundamenta no pressuposto de que o conhecimento não é algo acabado, mas uma construção que se faz e refaz constantemente. Assim sendo, o pesquisador estará sempre buscando novas respostas e novas indagações no desenvolvimento do seu trabalho (LÜDKE; ANDRÉ, 1986, p. 21).

O segundo aspecto destacado na obra refere-se ao contexto em que se realiza a pesquisa. É importante que o estudo do objeto e sua interpretação ocorram no contexto em que emerge o problema para melhor compreensão de sua manifestação. A busca pela compreensão do fenômeno em seu contexto contrapõe-se, por exemplo, ao positivismo, no qual entende-se que a realidade é formada por partes isoladas (TRIVIÑOS, 1987), logo, o estudo dessas partes levaria à compreensão da realidade. Para Lüdke e André (1986, p. 22), “as ações, as percepções, os comportamentos e as interações das pessoas devem ser relacionadas à situação específica onde ocorrem ou à problemática determinada a que estão ligadas”.

Como terceira característica do estudo de caso, as autoras indicam a busca pela compreensão da realidade em sua totalidade, visando a revelar e explorar as múltiplas dimensões associadas ao problema. Enfatizam, aqui, a complexidade natural das situações, dando importância às inter-relações de seus componentes. A variedade de fontes de informação, quarto fator apresentado por Lüdke e André (1986), também importante para o estudo de caso.

Lüdke e André (1986) trazem, como quinto elemento do estudo de caso, a revelação de experiência vicária e o fato de permitirem generalizações naturalísticas. Ao ter acesso à

pesquisa, o leitor deve ser capaz de relacionar os achados do pesquisador aos problemas de seu próprio interesse ou de seus próprios estudos.

Estudos de caso procuram representar diferentes pontos de vista presentes em dada situação social, ainda que sejam conflitantes sendo esta a sexta característica desse tipo de pesquisa, conforme Lüdke e André (1986). Ao relatar a pesquisa, deve-se trazer essas diferentes perspectivas, inclusive a do próprio pesquisador, permitindo ao leitor tirar suas próprias conclusões em relação à problemática que causou esse conflito.

O pressuposto que fundamenta essa orientação é o de que a realidade pode ser vista sob diferentes perspectivas, não havendo uma única que seja a mais verdadeira. Assim, são dados vários elementos para que o leitor possa chegar às suas próprias conclusões e decisões, além, evidentemente, das conclusões do próprio investigador. (LÜDKE; ANDRÉ, 1986, p. 23).

A sétima característica desse tipo de pesquisa, conforme as autoras, refere-se à linguagem e à forma dos relatos, apresentadas de maneira mais acessível do que outros relatórios de pesquisa. Pode-se apresentar os dados coletados de diferentes formas, como imagens, desenhos, colagens e fotografias, além dos relatos escritos. Estes, normalmente, são apresentados em estilo narrativo e informal, entretanto é possível que, em um mesmo relatório, haja formas distintas de discurso. O enfoque é apresentar os fatos de forma acessível e direta, com clareza, aproximando-se da experiência pessoal do leitor.

O estudo de caso ocorre em três etapas, as quais se sobrepõem ao longo da pesquisa, sendo difícil delimitar cada uma delas. A primeira seria de caráter exploratório, a segunda uma coleta sistemática de dados e a terceira uma análise sistemática dos dados coletados para a elaboração do relatório de pesquisa (NISBET; WATT, 1978 *apud* LÜDKE; ANDRÉ, 1986).

A fase exploratória inicia com uma estrutura básica, cujo delineamento mais preciso ocorrerá no desenvolver da pesquisa. Inicialmente, podem haver premissas baseadas na literatura especializada, nas visões de especialistas na área ou na própria experiência do pesquisador; essas, porém, são mutáveis, podendo ser descartadas ou aprimoradas no decorrer do estudo (LÜDKE; ANDRÉ, 1986).

Dentro da própria concepção de estudo de caso que pretende não partir de uma visão predeterminada da realidade, mas apreender os aspectos ricos e imprevistos que envolvem determinada situação, a fase exploratória se coloca como fundamental para uma definição mais precisa do objeto de estudo (LÜDKE; ANDRÉ, 1986, p. 25).

Busca-se, aqui, iniciar a pesquisa sem uma predefinição da realidade a ser estudada. Essa visão de realidade aberta, segundo as autoras, deve ocorrer não só na fase exploratória, mas no desenvolver de toda a pesquisa.

Depois de um primeiro contato com o problema na fase exploratória, inicia-se a delimitação do estudo. Aqui, o pesquisador deve iniciar a coleta de dados por meio de “instrumentos mais ou menos estruturados, técnicas mais ou menos variadas, sua escolha sendo determinada pelas características próprias do objeto estudado” (LÜDKE; ANDRÉ, 1986, p. 26). Dentre esses instrumentos, utilizarei entrevistas semiestruturadas que, segundo Manzini (1990/1991), possuem uma estrutura básica, com algumas questões predefinidas, porém estão focalizadas no interesse do pesquisador ao serem realizadas. Perguntas novas podem emergir durante a realização da entrevista, conforme as respostas do entrevistado; dessa forma, o pesquisador pode fazer redirecionamentos, encontrando respostas inesperadas, o que condiz com a filosofia da pesquisa do tipo estudo de caso.

O desenvolvimento do relatório, baseado na análise sistemática dos dados coletados, não ocorre apenas no final da pesquisa. Já na fase exploratória, após certa permanência em campo, o pesquisador pode elaborar relatos, transcrições de entrevistas e achados que lhe pareçam relevantes. As fases aqui descritas não ocorrem de forma linear e sugerem “um movimento constante no confronto teoria-empíria” (LÜDKE; ANDRÉ, 1986, p. 26).

Na seção seguinte apresento o método de análise escolhido para esta pesquisa, a Análise Fenomenológica Hermenêutica (AFH) (MEDEIROS, 2016). Como será apresentado a seguir, a AFH tem princípios fundamentalmente coerentes às características do estudo de caso destacadas por Lüdke e André (1986).

### 3.2 ANÁLISE FENOMENOLÓGICA HERMENÊUTICA

A Análise Fenomenológica Hermenêutica propicia ao pesquisador a possibilidade da realização de uma análise observacional sem as pretensões positivistas de imparcialidade, buscando a compreensão dos fenômenos na sua integralidade (MEDEIROS, 2016).



O objetivo é propor uma pesquisa compreensiva e integrativa, cuja análise está baseada na fenomenologia hermenêutica, e a metodologia, como ‘[...] caminho e o instrumental próprios de abordagem da realidade’ (MINAYO, 1992, p. 22), na interpretação essencial sintética, para auxílio a pesquisadores em níveis avançados de pesquisa qualitativa, como é esperado nas investigações de doutoramento e pós-doutoramento (MEDEIROS, 2016, p. 14).

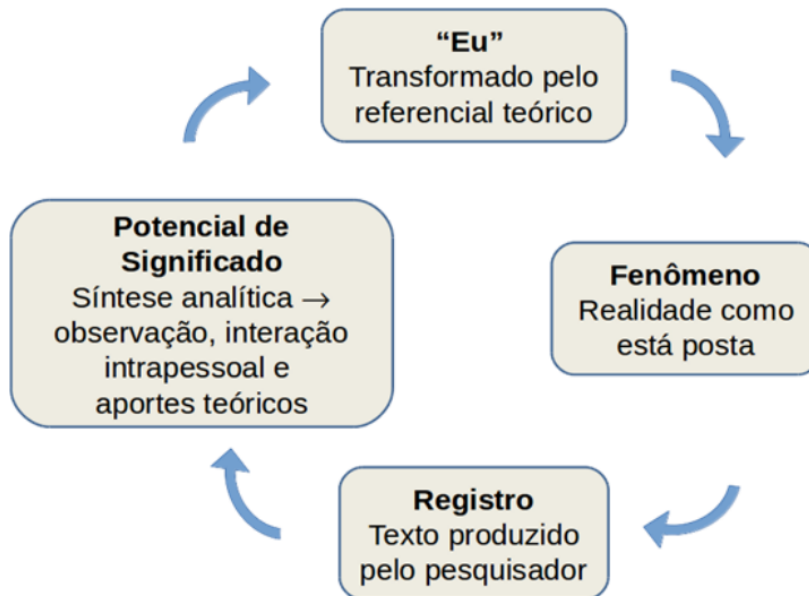
Neste sentido, Medeiros (2016) utiliza da fenomenologia hermenêutica para a construção da AFH no ânimo de compreender e interpretar o fenômeno em questão a partir da imersão do observador no mundo do observado, aproximando-se do fenômeno e, por consequência, reestruturado a sua própria visão de mundo.

A AFH estrutura-se em quatro pilares – interdisciplinaridade, transdisciplinaridade, fenomenologia e hermenêutica –, baseando-se na “emancipação do ser como pesquisador, sua união com o desenvolvimento da pesquisa em um movimento de observação, compreensão e autocrítica em um ciclo de pesquisa” (MEDEIROS, 2016), compreendido em um processo que elabora um produto provisório e reinicia a partir da análise final. Medeiros (2016) restringe a aplicação da AFH a pesquisas desenvolvidas a partir de entrevistas e observações *in loco*, no entendimento de que o pesquisador seja o próprio autor do texto a ser analisado, pois a elaboração deste em si já inclui as subjetividades do observador, e

(...) é imprescindível e indissociável a vivência do pesquisador com o estudo realizado para a compreensão e apreensão dos significados pelo sentido vivido, não como experiência, mas impregnado das essências às quais se têm consciência como consciência-de-si do vivenciado (...) (MEDEIROS, 2016, p. 42).

Para a realização da AFH como proposta, Medeiros (2016) destaca a necessidade da identificação, vivência e significação de quatro agentes, como denomina, sendo esses o Eu, que descreve o pesquisador para a “contextualização da pesquisa, suas motivações e objetivos ao propor a ação de pesquisa” (MEDEIROS, 2016, p. 42); o fenômeno, apresentado à partir de sua descrição como este aparece, além das aparências e manifestações; o registro, definido como o texto elaborado perpassando o Eu e o fenômeno; o potencial significado, descrito como “síntese analítica mediada pela observação, interação intrapessoal e aportes teóricos” (MEDEIROS, 2016, p. 42). A interlocução de forma circular dos agentes é sintetizada pela autora na Figura (7).

Figura 7 - Circularidade para aplicação da AFH.



Fonte: MEDEIROS, 2016.

O método proposto por Medeiros (2016) para a realização da AFH é a Interpretação Essencial Sintética (IES), que se apresenta como alternativa aos métodos convencionais de análise de texto ou discurso em pesquisas qualitativas. Na IES, o *corpus* não passa por processos de fragmentação, desconstrução e reconstrução; o método propõe a elaboração de conclusões diretamente da entrevista e/ou observação realizada pelo pesquisador (MEIDEIROS, 2016).

A IES é constituída pelo movimento de descrição e interpretação das ações, objetos ou discursos pesquisados, entremeados ao ser do pesquisador, incluindo suas concepções, visões de mundo, indagações, anseios, reflexões e, principalmente, conhecimentos. Disso deriva seu caráter científico. O pressuposto fundamental da IES é que o pesquisador e o ser pesquisado fazem parte de um mesmo fenômeno (...) (MEDEIROS, 2016, p. 48).

Medeiros (2016) estabelece os limites e as condições para a aplicabilidade da IES, indicando sua aplicação quando:

1. as pesquisas incluam unicamente entrevistas e/ou observações realizadas pelo próprio pesquisador;
2. o pesquisador conheça profundamente, tanto do ponto de vista teórico quanto experiencial, o fenômeno ou o tema analisado/interpretado;
3. o pesquisador tenha elevada capacidade empática, sendo hábil para situar-se no lugar do outro, perante suas ações, objetos e discursos;
4. o pesquisador tenha elevada capacidade argumentativa e, desenvoltura na escrita científica da área de estudo envolvida na pesquisa, e;
5. o pesquisador possua autoconhecimento e autocrítica em graus elevados (MEDEIROS, 2016, P. 49).

O Quadro 3 apresenta a metodologia para a aplicação da IES, contendo as ações que devem ser exercidas com segurança pelo pesquisador, respeitando as particularidades da pesquisa em questão:

Quadro 3 – Metodologia para aplicação da IES.

Identificar	Ter consciência sobre o que é observado
Conhecer	Estudar teoricamente o que é observado.
Observar	Observar o que está sendo estudado.
Interpretar	Interagir com o que está sendo estudado visando à compreensão do que acontece.
Compreender	Se colocar no lugar dos que vivem o que está sendo estudado – empatia.
Refletir	Voltar-se às noções apriorísticas (o “Eu”) e confrontá-las com o que agora se compreende.
Imergir	Reformular a compreensão mediante a interpretação profunda do fenômeno observado e estudado.
Concluir	Realizar a apresentação da visão geral do estudado, contendo a interpretação compreensiva aplicada ao observado, incluindo os referenciais teóricos, concepções e percepções do pesquisador, diretamente na forma de um texto, que pode ser entendida como a própria IES, produto de uma AFH.

Fonte: MEDEIROS, 2016.

Medeiros (2016) destaca que a IES é direcionada a pesquisas em que não se pode desprender a investigação do pesquisador, sendo este, parte do fenômeno estudado. A presente tese propõe-se a desenvolver um método de construção de conhecimentos sobre conceitos de Eletromagnetismo por meio de simulações auditivas, sendo estas elaboradas por mim. A

estrutura do OA, tanto em relação aos códigos adotados quanto a organização dos conteúdos e seus textos estão repletas de subjetividade, o que ratifica a impossibilidade de uma análise imparcial e desprendida das concepções de mundo do pesquisador, o que vai ao encontro da proposta da AFH em sua essência.

Para esta pesquisa foram desenvolvidas aulas em áudio, utilizando da substituição sensorial visual-auditava para o ensino de conceitos do Eletromagnetismo.

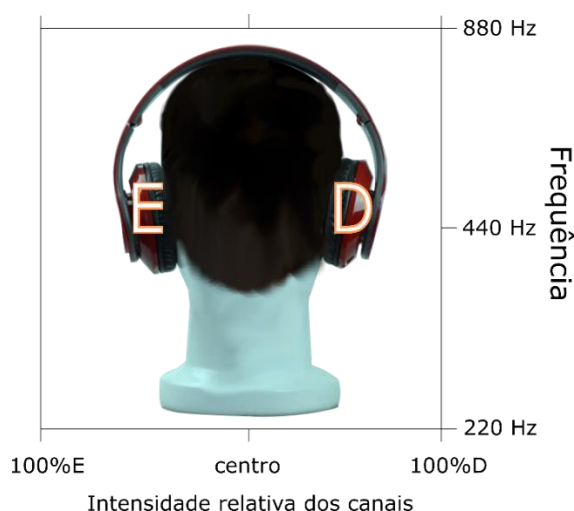
O segmento prático desta pesquisa pode ser dividido em três grandes partes: o desenvolvimento de simulações auditivas e as aulas nas quais estarão inseridas, a realização das atividades pelos participantes da pesquisa e a análise do corpus. Explico, na próxima seção, o processo de desenvolvimento das simulações auditivas.

### 3.3 DESENVOLVIMENTO DAS SIMULAÇÕES AUDITIVAS

As simulações possuem caráter unicamente auditivo e estão inseridas em aulas expositivas também gravadas em áudio. O tópico ensinado por meio das aulas foi eletricidade, mais especificamente os conceitos de campo elétrico, força elétrica e o processo de eletrização por atrito. Parte dos problemas enfrentados por estudantes deficientes visuais, como já dito anteriormente, é o constante uso de representações imagéticas de fenômenos físicos. Dentre essas incluem-se as representações das configurações de linhas de campo elétrico, cruciais para a compreensão do aspecto vetorial dessa grandeza. O conceito de força elétrica também demanda de representação vetorial para a sua compreensão. As simulações representam as linhas de campo elétrico e os vetores de força elétrica por meio de códigos auditivos similares aos utilizados nas pesquisas anteriormente citadas.

A Figura (8) representa o espaço virtual bidimensional onde serão representados os elementos das simulações, que foram desenvolvidas no programa *Reaper*.

Figura 8 - Espaço virtual das simulações auditivas.



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

A posição vertical ocupada por cada elemento nesse espaço é caracterizada pela frequência sonora de seus respectivos códigos, que para linhas de campo elétrico e vetores força elétrica é o som de uma onda senoidal. A escolha das frequências entre 220 Hz e 880 Hz é devida à facilidade de percepção dessas e à tentativa de evitar desconforto auditivo. Em relação à percepção, o valor mínimo foi definido a partir dos parâmetros utilizados convencionalmente em procedimentos de Audiometria Tonal Liminar, padronizado para descrever a sensibilidade auditiva por meio de testes entre frequências sonoras de 250 a 8.000 Hz (OPPITZ et al, 2017). A opção por 220 Hz ao invés de 250 Hz se deve a facilidade de elaboração das simulações, pois essa frequência representa a nota musical *Lá* – a quinta corda de um violão na afinação tradicional –, uma oitava abaixo do *Lá* central (440 Hz), o que facilita a criação de simulações em programas de computador destinados à produção musical, como as *Digital Audio Workstations* (DAW), categoria na qual se enquadra o programa *Reaper*. A opção por utilizar sons na faixa de frequências mais graves foi para evitar possível desconforto com sons agudos, como o apito de uma chaleira, considerando o tempo de exposição dos participantes às simulações.

A escala utilizada para associar a posição vertical à frequência é logarítmica, uma vez que, para frequências puras (ondas senoidais), a nossa percepção de altura sonora é aproximadamente proporcional ao logaritmo da frequência (SETHARES, 2014). Para explicar esta relação, podemos comparar a percepção de altura sonora com a percepção de altura física. Imaginemos que posicionamos um objeto “A” na marcação de 50 centímetros de uma régua de comprimento total igual a 100 centímetros e, em seguida, posicionamos um objeto “B” na marcação de 100 centímetros desta régua. Agora, para posicionarmos um objeto “C” à mesma distância que “B” está para “A”, precisamos posicioná-lo na marcação de zero centímetros.

Desta forma, ao olharmos para o sistema, teremos a percepção de que “B” e “C” estão equidistantes do objeto “A”.

Em contrapartida, se quisermos obter essa mesma percepção de equidistância em alturas sonoras, a relação não é linear. Ao ouvirmos um som originário de uma frequência de 50 Hz e outro de 100 Hz, perceberemos uma “distância” entre eles. Para obter exatamente a mesma sensação de distância, porém na direção contrária, comparando à frequência de 50 Hz, devemos ouvir um som originário de uma frequência de 25 Hz. Relacionando esta ideia à música, pode-se pensar na escala de *Dó* Maior: *Dó, Ré, Mi, Fá, Sol, Lá, Si*. Percebemos o som do intervalo entre as notas *Dó* e *Ré* como sendo linearmente igual ao intervalo entre as notas *Sol* e *Fá*, como se a escala seguisse uma progressão aritmética; entretanto, as frequências das notas desta escala seguem uma progressão geométrica de razão  $\sqrt[12]{2}$ .

Assim sendo, a escala de frequência para as simulações desta pesquisa possui a frequência de 440 Hz como ponto de altura central, 880 Hz como altura máxima e 220 Hz como altura mínima. Variações da posição de elementos das simulações entre esses três pontos obedecem a relação logarítmica, conforme o que foi exposto.

A posição horizontal ocupada pelos elementos da simulação é definida pela sua posição no panorama estéreo do som, de forma similar ao funcionamento da nossa percepção acerca da posição de fontes sonoras em situações cotidianas. Para simular um elemento posicionado diretamente à frente do ouvinte, o código sonoro desse é reproduzido com igual intensidade nos canais esquerdo e direito, ou seja, nas orelhas esquerda e direita do ouvinte.

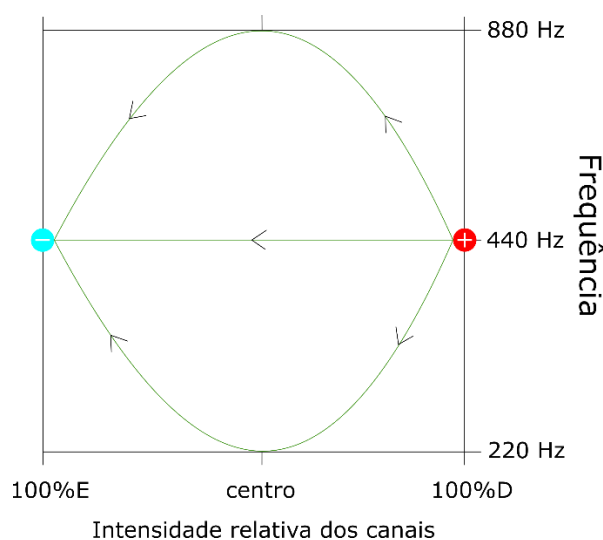
Embora haja similaridades entre os códigos criados por mim para esta pesquisa e aqueles adotados por Meijer (1992) no desenvolvimento do *software The VOICE*, existe uma diferença essencial na manipulação do panorama estéreo que viabiliza, a meu ver, a aplicação em ensino de Física. O programa de Meijer sempre faz a varredura das imagens em uma única direção, de forma que a reprodução do áudio ocorre apenas em um sentido, o que impossibilitaria utilizá-lo para representar corretamente os atributos imagéticos de grandezas vetoriais.

Nas simulações que criei, um elemento que se desloca da posição central para a esquerda terá o seu código sonoro reproduzido cada vez mais intensamente no canal esquerdo e, simultaneamente, menos intensamente no canal direito, até que a intensidade no canal direito seja igual a zero quando o elemento atingir o ponto extremo esquerdo da simulação. Um elemento deslocando-se para a direita da simulação seguirá a mesma lógica, aumentando a

intensidade no canal direito e diminuindo no canal esquerdo. Assim, é possível representar a orientação de grandezas vetoriais e de linhas de campo.

Para fins de entendimento dos códigos adotados, consideremos a imagem a seguir (Figura 9), uma representação simplificada das linhas de campo entre dois corpos puntiformes carregados com cargas de sinais opostos:

Figura 9 – Representação simplificada das linhas de campo entre dois corpos puntiformes carregados com cargas de sinais opostos.



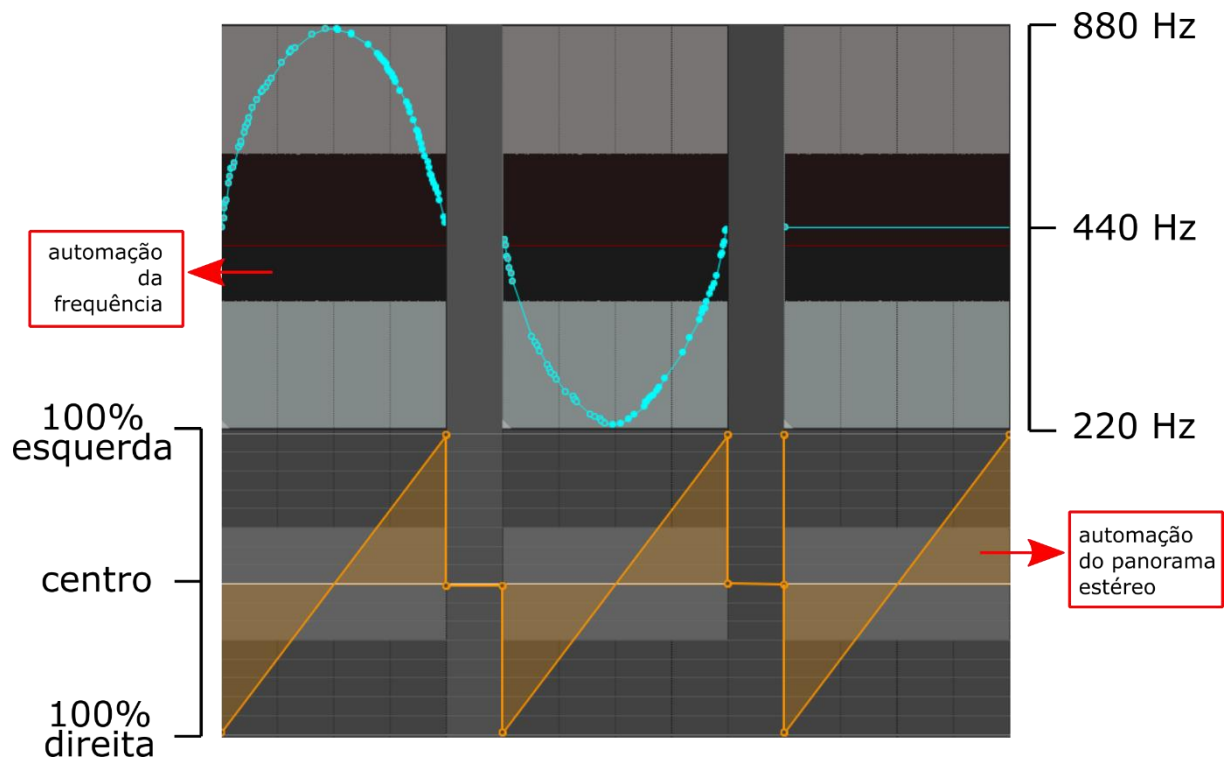
Fonte: elaborado pelo autor (2020)

As cargas elétricas são representadas por gravações de voz com a primeira sílaba de cada uma, ambas afinadas em Lá Central (440 Hz), sendo “pô” o código para carga positiva e “nê” o código para carga negativa. Em situações em que há movimento de cargas elétricas esse é representado a partir da variação das alturas dos códigos. A variação da altura e do panorama estéreo para representação das linhas de campo – e, quando necessário, das cargas – é feita com o recurso de automação destes parâmetros presente no programa *Reaper*. A Figura (10) ilustra este recurso a partir de uma captura de tela do programa contendo a construção dos códigos sonoros representativos das três linhas de campo mostradas na Figura 9.

A automação da frequência sonora está representada ao topo da Figura 10, na qual a linha azul representa a variação da frequência sonora entre os limites de 220 e 880 Hz. O primeiro item da imagem, da esquerda para a direita, representa uma linha de campo em formato de arco ascendente, assim como o próprio desenho da automação sugere. Da mesma forma, o segundo item representa um arco descendente e o terceiro, uma linha reta. As linhas em amarelo

representam a automação do panorama estéreo, que varia da mesma forma para os três itens: linearmente, da esquerda para a direita, causando no ouvinte percepção de que o som se desloca neste sentido.

Figura 10 – Automação de frequência e panorama estéreo do programa Reaper.



Fonte: o autor (2020).



### 3.4 BARREIRAS DAS SIMULAÇÕES AUDITIVAS

A caracterização de diferentes formas geométricas nas simulações desenvolvidas nesta pesquisa ocorre a partir da manipulação digital da altura de ondas sonoras senoidais e do seu posicionamento no panorama estéreo. Outras variações em propriedades do som podem ser exploradas na elaboração de simulações auditivas, como a utilização de timbres distintos para representação de objetos e partículas, duração do som para determinar os módulos de vetores, entre outras. Para que o ouvinte seja capaz de compreender os códigos sonoros adotados, é imprescindível que ele consiga diferenciar, de forma comparativa, sons graves de sons agudos, assim como o sentido de variação no caso de sons com frequências variáveis, análogo à diferenciação de melodias ascendentes e descendentes na área da música, assim como demais características fisiológicas do som.

Por mais que para a maioria das pessoas essas diferenciações ocorram de forma natural, alguns indivíduos apresentam dificuldades e até mesmo incapacidade de percepção dessas características das ondas sonoras. Chama-se amusia a “dificuldade parcial ou total de perceber os sons melódicos ou rítmicos gerada por disfunção do processamento neuronal da música” (CUERVO, MAFFIOLETTI, 2015). Segundo Peretz, Champod e Hyde (2003) a forma mais eficiente de diagnóstico de amusia é realizada por meio da *Mountreal Battery Evaluation of Amusia*, que mede a capacidade de percepção musical de indivíduos baseando-se na dimensão melódica, definida pela variação sequencial de altura sonora, e na dimensão temporal, definida pela variação da duração do som (PERETZ, CHAMPOD, HYDE, 2003). Ainda segundo os autores, indivíduos podem apresentar diferentes níveis de amusia.

A capacidade de percepção relacionada tanto à dimensão melódica quanto à dimensão temporal afeta diretamente a experiência do indivíduo com as simulações auditivas elaboradas nesta pesquisa. Quanto mais severo for o nível de amusia de uma pessoa, menor será a precisão das formas geométricas representadas nas simulações desta pesquisa, pois formas mais complexas como arcos<sup>7</sup>, utilizados na representação de algumas linhas de campo elétrico entre pares de carga, podem ser confundidas com o formato de cristas ou vales de onda triangular, por exemplo. Dependendo da capacidade do indivíduo em diferenciar sons conforme suas

<sup>7</sup> Por “arco” me refiro a formas geométricas semelhantes a arcos de circunferência e não ao conceito matemático em si.

durações, a diferenciação entre módulos de vetores de força elétrica pode ser prejudicada, pois conforme adotado nesta pesquisa, a duração de um som está relacionada ao comprimento do segmento de reta representado.

Além da amusia, a acuidade auditiva pode ser um fator determinante no entendimento das simulações. O posicionamento horizontal de elementos das simulações depende da posição ocupada pelo código sonoro no panorama estéreo, característica que se expressa por meio da diferença de intensidade da reprodução de um som entre o canal esquerdo e direito. Diferenças na acuidade auditiva entre as orelhas da pessoa afeta a precisão efetiva da simulação quanto ao posicionamento horizontal dos elementos e sua movimentação no panorama estéreo, sendo inviável o uso das simulações no caso de surdez unilateral. Os participantes desta pesquisa não foram diagnosticados nem quanto suas acuidades auditivas, nem quanto seus possíveis níveis de amusia.

### 3.5 ORGANIZAÇÃO DAS AULAS EM ÁUDIO

O objetivo das aulas criadas nesta pesquisa é ensinar os conceitos de força elétrica e campo elétrico por meio de uma abordagem conceitual, pois acredito que a compreensão das representações tradicionalmente visuais destes conceitos pode transpor as barreiras comunicacionais expostas por Camargo (2006) que me propus a dirimir. Uma vez entendido o caráter vetorial da força e campo elétricos e o desenho das linhas de campo elétrico, o estudante cego é capaz de acompanhar tanto as aulas da escola quanto as diversas videoaulas sobre o assunto disponíveis gratuitamente na *web*. Elaborei cinco aulas organizadas conforme exposto no parágrafo a seguir, em termos de estrutura e conteúdos abordados.

A “Aula Zero<sup>8</sup>” não aborda os conteúdos de Eletromagnetismo, e sim os códigos sonoros usados nas simulações para que os estudantes assimilem a lógica de representação adotada. As formas geométricas apresentadas nesta aula são: retas horizontais orientadas da direita para esquerda e da esquerda para a direita; situadas verticalmente nas alturas máxima, central e mínima; retas verticais orientadas da altura mínima a máxima e da máxima à mínima, situadas horizontalmente nas posições extrema esquerda, central e extrema direita; retas diagonais orientadas de um canto extremo ao outro, ascendentes e descendentes, com exemplos

<sup>8</sup> Disponível em: <https://youtu.be/QQHh5sezzq0>. Acesso em: 04 dez. 2020.

partindo de cada um dos quatro cantos, totalizando quatro representações; arcos com concavidade para baixo orientados da esquerda para a direita e da direita para esquerda, iniciando e terminando na altura central; arcos com concavidade para cima orientados da esquerda para a direita e da direita para esquerda, iniciando e terminando na altura central. Duração da aula: 4 minutos e 48 segundos.

Na “Aula 1<sup>9</sup>” começo contando a história do início do estudo da eletricidade por Tales de Mileto, exemplificando o experimento de atrito entre um fragmento de âmbar e um pano. Para representar o âmbar reproduzi o som de uma pedra rolando no chão e, para a representação do pano, o som de um pano tremulando no ar. O processo de atrito entre os materiais foi simulado pelo som de folhas de papel sendo esfregadas uma contra a outra. Esses três sons foram adquiridos por meio da plataforma *freesound.org*<sup>10</sup>. Explico, também, as diferenças empíricas entre a força elétrica entre o pano e o âmbar após o atrito e a força magnética entre a magnetita e objetos metálicos.

Além da representação inicial do processo de atrito, na “Aula 1” simulei outros experimentos com o pano e o âmbar, colocando em atrito dois pares desses materiais, cada par posicionado em um extremo horizontal. Após o atrito dos pares, simulei a interação entre os objetos da esquerda e os objetos da direita caso fossem aproximados (âmbar da esquerda com âmbar da direita, pano da esquerda com pano da direita etc.), no intuito de exemplificar as forças de atração e repulsão. Na parte final explico a origem das cargas elétricas dos corpos das simulações a partir da estrutura atômica clássica (nêutrons, prótons e elétrons) e a Lei de Du Fay. Duração da aula: 7 minutos e 1 segundo.

Ao início da “Aula 2<sup>11</sup>”, retomo os efeitos do processo de atrito e a Lei de Du Fay com exemplos do cotidiano. Em sequência, apresento o conceito de força elétrica e sua proporcionalidade em relação à quantidade de carga elétrica, à distância entre as cargas e à constante eletrostática do meio. Representei a intensidade das forças conforme a variação dessas grandezas por meio de segmentos de reta de diferentes comprimentos, simulando o que seria o módulo do vetor força elétrica. Duração da aula: 7 minutos e 50 segundos.

<sup>9</sup> Disponível em: <https://youtu.be/XYZYE8Q5FrU> Acesso em: 04 dez. 2020.

<sup>10</sup> Disponível em: <https://freesound.org/> Acesso em: 04 dez. 2020.

<sup>11</sup> Disponível em: <https://youtu.be/b9fk0BsRrQc> Acesso em: 04 dez. 2020.

Na “Aula 3<sup>12</sup>”, retomo o conceito de força elétrica e inicio o estudo de campo elétrico, a partir da simulação de um experimento com uma carga fixa positiva no centro do espaço virtual e diversas cargas de prova positivas móveis ao redor dessa, mostrando que, uma por uma, as cargas de prova se afastam da carga fixa radialmente. Na análise do experimento, questiono retoricamente se, caso não houvesse cargas de prova na situação dada, ainda haveria força elétrica, introduzindo então o conceito de campo elétrico. Em seguida, explico quais grandezas físicas afetam o módulo do campo elétrico e introduzo o conceito de linhas de campo elétrico, representando as linhas geradas por carga positiva e por carga negativa. Duração da aula: 8 minutos e 10 segundos.

Na “Aula 4<sup>13</sup>” explico a unidade “newton por coulomb” do campo elétrico, relacionando-a com a unidade “newton” de força elétrica e apresentando exemplos numéricos. Em seguida, retomo as linhas de campo geradas por carga positiva e por carga negativa e, por fim, apresento e explico as configurações de linhas de campo geradas por pares de carga elétrica de mesmo sinal e de sinais opostos. Duração da aula: 4 minutos e 53 segundos.

Estas cinco aulas foram colocadas em ordem no site *YouTube* (site que hospeda vídeos), e seus endereços foram enviados aos participantes. Celso, o participante cego, relatou pouco domínio de computador quando foi convidado para a pesquisa, porém afirmou ter facilidade em acessar os aplicativos para celular *YouTube* e *Whatsapp* (aplicativo de mensagens), possibilitando sua interação com as aulas e comigo, durante as entrevistas. João, o participante vidente, também relatou domínio no uso de ambos os aplicativos, então, assim como Celso, assistiu às aulas no *YouTube* e foi entrevistado antes e depois de experimentá-las por meio do aplicativo *Whatsapp*.

<sup>12</sup> Disponível em: <https://youtu.be/10a99RjC6G4> Acesso em: 04 dez. 2020.

<sup>13</sup> Disponível em: [https://youtu.be/J\\_GRIjTHOrM](https://youtu.be/J_GRIjTHOrM) Acesso em: 04 dez. 2020.

### 3.6 ORGANIZAÇÃO DAS ENTREVISTAS

Cada participante foi entrevistado individualmente, ao todo, sete vezes. A primeira entrevista serviu para que eu soubesse os conhecimentos prévios dos participantes sobre Eletromagnetismo, mais especificamente sobre Eletricidade. Essa entrevista foi do tipo semiestruturada, contendo previamente as seguintes perguntas:

- 1) O que você entende por eletricidade?
- 2) No inverno, quando tiramos um blusão do corpo após usá-lo por algumas horas, às vezes escutamos alguns estalos. Você já escutou esses estalos alguma vez? O que você acha que causa esse som?
- 3) Você já levou um choque elétrico ao encostar em outra pessoa ou na maçaneta de uma porta ou veículo? Como você explica esse fenômeno?
- 4) O que você entende por força elétrica?
- 5) O que você entende por campo elétrico?

As cinco seguintes entrevistas foram realizadas depois de cada uma das cinco aulas. O intuito dessas foi saber as impressões, questionamentos e sugestões dos participantes sobre o seu entendimento dos conteúdos abordados, entendimento dos códigos e estrutura geral de cada aula. Diferente da primeira, essas entrevistas são apresentavam diversos questionamentos previamente elaborados, estando estruturadas inicialmente em uma única pergunta: o que você achou da aula? A partir daí, acrescentei outras perguntas conforme achei necessário no momento.

A última entrevista foi separada em duas partes: avaliação das aulas em áudio e reaplicação das perguntas sobre conhecimentos prévios. A parte da avaliação das aulas apresentava as seguintes perguntas:

- 1) Como você avalia a sua experiência com as simulações, de forma geral?
- 2) O que você achou sobre os códigos sonoros adotados nas simulações?
- 3) Você acredita que conseguiu compreender com clareza todos os códigos adotados?
- 4) Para você, quais foram as formas geométricas mais fáceis de serem identificadas?
- 5) Para você, quais foram as formas geométricas mais difíceis de serem identificadas?

- 6) Como você avalia os códigos utilizados para as representações em geral, como cargas positivas e negativas, âmbar, lã, processo de atrito etc.?
- 7) Quais sugestões você apresenta para a melhoria das simulações?

Todas as entrevistas foram realizadas à distância, respeitando as orientações da Organização Mundial da Saúde para o enfrentamento da pandemia de COVID-19. A comunicação com os participantes se deu por meio de mensagens de texto e voz por meio do aplicativo *Whatsapp*.

Na seção a seguir, apresento a caracterização dos casos estudados e o registro do fenômeno analisado. Como eu não estive presente durante a experimentação dos participantes com aulas por razões já apresentadas, o único fenômeno que posso analisar são as entrevistas com os participantes antes e após ouvirem as aulas, pois a AFH exige que o pesquisador faça parte do fenômeno estudado (MEDEIROS, 2016). Este registro não se trata da mera transcrição das entrevistas, e sim do meu relato da experiência que vivi durante as suas realizações, destacando minhas impressões do que foi dito por eles e do que foi percebido por mim. Os nomes utilizados para me referir aos participantes são fictícios, a fim de proteger suas identidades. A transcrição literal das entrevistas encontra-se no Anexo I.

### 3.7 CARACTERIZAÇÃO DOS CASOS E REGISTRO DO FENÔMENO

#### 3.7.1 CASO 1: “CELSO”

Celso é um estudante de um curso técnico em meio ambiente integrado ao Ensino Médio, tem 28 anos de idade e está no segundo ano do curso. Celso tem cegueira adquirida, tendo perdido a visão aos 9 anos de idade. Conforme me relatou anteriormente à pesquisa, o participante não utiliza o Braile, embora tenha aprendido o sistema de escrita tátil – abandonou seu uso e estudo por ter perdido parte da sensibilidade das pontas dos dedos, o que também dificulta o uso de materiais didáticos táteis, como figuras em alto-relevo e maquetes detalhadas.

Celso tem pouquíssima familiaridade com computadores e seus recursos de acessibilidade, como programas leitores de tela, porém utiliza diariamente o seu *smartphone*, o qual utiliza para estudar textos escolares, ouvir música, assistir à vídeos na *web* e conversar com seus amigos e professores. As entrevistas foram realizadas de forma síncrona e assíncrona por meio do aplicativo de mensagens *Whatsapp*, majoritariamente utilizando mensagens de áudio. Durante as entrevistas, relatou diversas vezes ter dificuldade com a utilização de fones

de ouvido, essenciais para o entendimento das simulações auditivas. Não consegui compreender exatamente onde essa dificuldade aparecia, se era no manuseio do acessório, na conexão deste com o celular ou no posicionamento em suas orelhas, porém nitidamente essa questão estava atrapalhando a sua compreensão das aulas. Por vezes colocava os fones invertidos (fone esquerdo na orelha direita e vice-versa) e, mesmo as aulas indicando por som a posição dos fones, Celso ou esquecia de desinvertê-los ou não percebia que estavam trocados.

O estudante apresentou grande interesse em participar da pesquisa, mostrando-se disposto a aprender a aprender tanto os códigos adotados quanto os conceitos abordados. Durante a entrevista prévia, apresentou pouquíssimo conhecimento acadêmico sobre temas relacionados à eletricidade. O fato de estar sendo formalmente questionado pareceu-me deixá-lo nervoso, com medo de dar respostas erradas, por mais que eu tenha ratificado diversas vezes que, tratando-se dos seus próprios conhecimentos, seria impossível errar.

Dentre as discrepâncias entre o conhecimento de Celso e o conhecimento acadêmico, a que mais me chamou atenção foi a não-distinção entre os conceitos de “energia” e “eletricidade”, o que, conforme minha experiência docente, é comum em estudantes que não foram formalmente apresentados a esses conceitos acadêmicos ainda, que era o caso de Celso. Essa não-distinção ficou explícita para mim quando o estudante afirmou que existiam diversos tipos de eletricidade, como “eletricidade elétrica”, afirmando que esta “é a que tem positivo e negativo”. Em outras ocasiões, Celso utilizou o termo correto, referindo-se à energia elétrica, mostrando-me que utilizava as duas palavras como sinônimos. Outra discrepância conceitual demonstrada pelo participante foi entre os conceitos de “força” e “energia”, mais uma vez. Quando questionado sobre o significado de força elétrica, sua resposta foi muito similar àquela dada à pergunta sobre eletricidade: “É a que tem positivo, negativo... é tipo isso, não? Energia elétrica.” Com relação ao conceito de campo elétrico, Celso afirmou não o conhecer.

A postura de Celso durante as entrevistas realizadas após cada aula foi muito diferente da que assumiu nas entrevistas prévia e final: fez diversos questionamentos e afirmações sobre tópicos abordados sem medo de estar errado. Acredito que esta postura mais relaxada se deve ao formato destas entrevistas, pois eu não havia elaborado perguntas prontas sobre as aulas, o que deu um caráter informal à situação.

Por mais que o objetivo das aulas era o ensino dos conceitos força elétrica e campo elétrico, o tópico que mais interessou Celso foi o processo de eletrização por atrito, atrelado à ideia de que todos os materiais possuem cargas elétricas. Neste ponto, o estudante elogiou os códigos de sonorização que adotei para representar o âmbar, o tecido, o processo de atrito e as

cargas elétricas. Na entrevista sobre os conhecimentos prévios, quando questionado sobre os estalos gerados ao remover um blusão durante o inverno, Celso atribuiu o fenômeno à temperatura do material; na entrevista final, disse ter compreendido que o som escutado era oriundo das cargas elétricas, atribuindo o fenômeno ao processo de eletrização por atrito.

Com relação aos códigos adotados para representação de formas geométricas, o estudante afirmou ter dificuldades em sua compreensão desde a Aula Zero – afirmou confundir sons graves e sons agudos, sendo difícil para ele distinguir se as linhas eram ascendentes e descendentes; em contrapartida, entendia facilmente a orientação horizontal das simulações, sabendo distinguir quando dada forma geométrica era desenhada da esquerda para a direita ou o contrário. Como sugestão para sanar sua dificuldade de compreensão dos códigos de representação das orientações verticais, Celso disse que seria mais fácil utilizar timbres de diferentes instrumentos musicais para identificar figuras ascendentes e descendentes, ratificando sua dificuldade na distinção entre frequências graves e agudas. Apesar disto, o estudante afirmou que se empenharia a entender melhor os códigos adotados, assistindo à Aula Zero diversas vezes, o que, no que puder observar, surtiu um resultado positivo.

Sempre que conversávamos após Celso assistir às aulas, suas perguntas eram centradas na parte conceitual; espontaneamente, pouco falava sobre o seu entendimento das formas geométricas como a representação da força elétrica e das linhas de campo elétrico. Quando eu fazia perguntas direcionadas aos códigos sonoros, suas respostas eram sempre pautadas na sua dificuldade, de forma geral, e no seu empenho em continuar a ouvir as aulas repetidamente para tentar compreendê-los melhor. Para tentar sanar este problema, enviei para Celso algumas simulações de formas geométricas isoladas, uma por uma, sem atribuí-las a conceitos físicos. Durante esta prática, notei que o estudante estava conseguindo compreender linhas ascendentes e descendentes, podendo distinguir facilmente as diferentes linhas diagonais; contudo, as representações dos arcos ainda eram desafiadoras para Celso, que conseguia entendê-las, porém às vezes afirmava confundir-se.

Em relação ao aspecto conceitual de força elétrica e campo elétrico, Celso demonstrou uma aproximação aos conceitos acadêmicos. Após a primeira aula sobre campo elétrico, pode relacionar o conceito às tomadas elétricas em sua casa, mesmo que este exemplo não tenha sido citado durante a aula. Em um primeiro momento, o estudante aparentou não ter compreendido bem as unidades de medida dos dois conceitos, solicitando a mim uma segunda explicação para então entendê-las. Sobre as relações de proporcionalidade dos conceitos, Celso conseguiu compreender que a força e o campo eram inversamente proporcionais à distância, relacionando



o comprimento virtual dos segmentos de reta adotados para representar os vetores aos seus respectivos módulos.

Durante a entrevista final, Celso agradeceu diversas vezes por ter participado da pesquisa. Mesmo sem ser requisitado, o participante fez uma autoavaliação enquanto também avaliava as aulas em áudio: disse que sentiu não ter se saído muito bem, colocando em si a culpa por não ter compreendido o conteúdo das aulas em sua totalidade. Celso avaliou o seu entendimento dos códigos com uma nota 6, porém afirmou se sentir capaz de atingir a nota 10, caso continue a assistir às aulas repetidamente.

### 3.7.2 CASO 2: “JOÃO”

O participante João é um estudante de 18 anos de idade cursando o 4º ano de um curso técnico em meio ambiente integrado ao Ensino Médio. João é vidente e tem grande domínio de tecnologias computacionais, além de um grande interesse por conteúdos de Física.

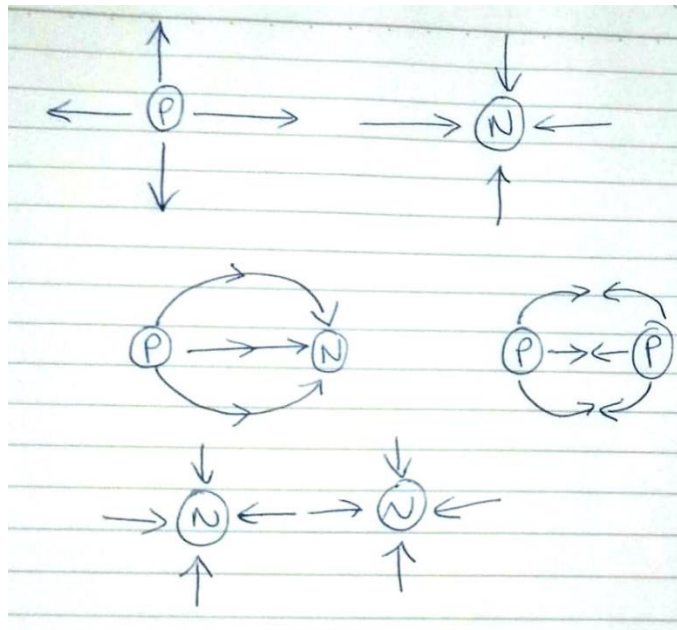
Durante a realização das atividades da pesquisa, João não havia estudado os conteúdos de Eletromagnetismo formalmente na escola, mas por interesse próprio, apresentou certa familiaridade com os conceitos apresentados nas aulas em áudio. Nas respostas sobre conhecimentos prévios, pude notar o uso de expressões específicas da área como “polos positivo e negativo”, “carga” e “trabalho”; entretanto, a aplicação desses termos nem sempre foi feita da forma correta. As respostas do estudante eram sempre curtas e seguras, sem dar espaço para uma exploração mais aprofundada dos conceitos. Dentre os assuntos abordados na primeira entrevista, João afirmou não ter familiaridade com o conceito de campo elétrico.

João demonstrou entendimento dos códigos para representações geométricas desde o primeiro contato com eles na Aula Zero, relatando surpreender-se com a representação dos arcos. O estudante também afirmou compreender os códigos de sonorização adotados para representar o âmbar, o tecido e as cargas elétricas, assim como o movimento destes elementos.

Sempre quando questionado sobre o seu entendimento dos conceitos e códigos, inclusive a representação dos vetores de força elétrica, João afirmava ter entendido tudo e estar gostando muito das aulas. Ao terminar de assistir à Aula 4, solicitei a ele que desenhasse as configurações de linhas de campo elétrico apresentadas nas simulações das duas últimas aulas; o estudante prontamente afirmou já ter feito a tarefa antes da minha solicitação, enquanto ouvia as simulações. Os desenhos feitos pelo estudante foram digitalizados e estão na Figura 11. Da

esquerda para a direita e de cima para baixo, os desenhos representam as linhas de campo elétrico geradas por, respectivamente: carga positiva isolada, carga negativa isolada, par de cargas positiva e negativa, par de cargas positivas e par de cargas negativas.

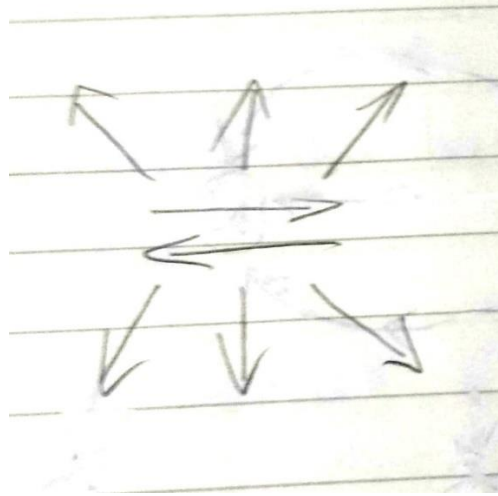
Figura 11 – Representações das linhas de campo elétrico elaboradas pelo participante “João”.



Fonte: participante “João”, 2020.

O primeiro detalhe que percebi nos desenhos de João foi que as duas primeiras representações, referentes às linhas de campo elétrico de cargas isoladas, apresentavam apenas quatro setas cada uma, sendo que as simulações que elaborei continham oito linhas de campo cada. A impressão que tive foi que João representou esses dois desenhos conforme lembrava-se da Aula 3, em vez de desenhá-los simultaneamente à escuta das simulações. Para averiguar minha suspeita e, ao mesmo tempo, avaliar as simulações, enviei ao estudante a simulação auditiva das linhas de campo elétrico gerado por carga positiva de forma descontextualizada, sem informá-lo sobre do que se tratava, e solicitei que desenhasse o que ouvia enquanto reproduzia o arquivo de áudio. Este desenho se encontra na Figura 12.

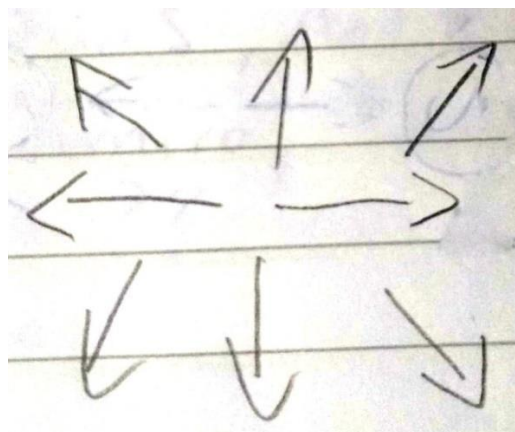
Figura 12 – Primeiro desenho feito por “João” ao ouvir a simulação descontextualizada das linhas de campo elétrico geradas por carga positiva.



Fonte: Participante “João”, 2020.

Na Figura 11, João desenhou todas as linhas de campo presentes na simulação, porém as duas linhas horizontais estão representadas apenas quanto suas orientações. A simulação apresenta todas as linhas iniciando no centro da imagem e terminando nas extremidades. Ao notar este detalhe, disse ao João: “É quase isso. Presta atenção onde começam as linhas horizontais.” Em resposta, João disse: “Certo, vou ouvir de novo”. Em seguida, o estudante enviou-me um novo desenho, apresentado na Figura 13.

Figura 13 – Segundo desenho feito por “João” ao ouvir a simulação descontextualizada das linhas de campo elétrico geradas por carga positiva.



Fonte: Participante “João”, 2020.

Outro ponto que percebi ao analisar a Figura 11 foi que as representações das duas últimas configurações de campo elétrico não estavam corretas. Neste momento, contei ao estudante que eu já imaginava que haveria dificuldade no entendimento destas figuras, pois eu mesmo – que já estava acostumado com os códigos que havia criado – tive problemas ao identificá-las. Em seguida, enviei ao participante uma imagem contendo a representação correta das linhas, e este disse acreditar que seria mais fácil compreender os códigos se fosse explicada a existência de um espaço vazio entre as linhas centrais. A imagem enviada ao estudante encontra-se no centro da Figura 6.

Na entrevista final, durante a reaplicação das perguntas iniciais, João mostrou evolução conceitual em sentido ao conhecimento acadêmico, demonstrando ter compreendido com clareza todos os conceitos abordados nas aulas em áudio. Em relação à avaliação das simulações, o estudante afirmou ter compreendido todas as representações, exceto as duas últimas, afirmando ter dificuldade com as “curvas”; entretanto, ao representar as linhas de campo elétrico geradas por par de cargas de sinais opostos, João desenhou os arcos com concavidade para cima e para baixo de forma correta. No meu entendimento, as “curvas” a que o estudante se refere são os arcos com concavidade para esquerda e para a direita, pois ele as desenhou incorretamente. De forma geral, o participante afirmou que as simulações “Indicam bem o sentido das linhas e suas posições.”

### 3.8 INTERPRETAÇÃO ESSENCIAL SINTÉTICA

As simulações auditivas cumprem os cinco critérios estabelecidos por Sabatini (2012) para sua caracterização como objetos de aprendizagem: as simulações das formas geométricas podem ser aplicadas a diferentes contextos educativos, representando diferentes grandezas físicas, o que cumpre o critério da reutilização; por serem essencialmente arquivos de áudio, as aulas em áudio podem ser reproduzidas em diversos tipos de dispositivo, cumprindo o critério da portabilidade; as simulações podem integrar outros materiais didáticos de mídia auditiva, como livros em áudio, cumprindo o critério da modularidade; os resultados apontam para o potencial das aulas em áudio no ensino de conceitos de força elétrica e campo elétrico sem dependerem de outros objetos, cumprindo o critério da autossuficiência; as aulas em áudio estão hospedadas no *Youtube*, onde apresentam o nome do autor, palavras chaves e objetivos

educacionais, o que cumpre o critério de objetos de aprendizagem serem descritos por metadados.

Os dois participantes da pesquisa apresentam diferenças que estão além da deficiência visual. Em relação aos meios adotados para a tecnologia assistiva que desenvolvi, é notável que João, o participante vidente, estava mais familiarizado com o uso de fones de ouvido do que Celso, que teve dificuldade no manuseio do equipamento. Sobre os conteúdos de Eletromagnetismo abordados nas aulas, João possuía conhecimentos prévios mais próximos dos conceitos acadêmicos do que o participante cego. Mesmo partindo de pontos distintos, as entrevistas mostraram que ambos os estudantes aprimoraram seus entendimentos sobre os tópicos, o que aponta para a consecução do objetivo geral desta tese. Além disso, esses resultados me fazem avaliar positivamente as aulas em áudio em relação ao critério de conveniência proposto por Sabatini (2012).

Os códigos que desenvolvi para as simulações possibilitaram a substituição sensorial visual-auditiva de forma geral; mesmo que em níveis diferentes de entendimento, tanto João quanto Celso conseguiram visualizar parte das imagens representadas nas aulas em áudio. As dificuldades relatadas pelo estudante cego aparentam estar relacionadas à densidade de informações presente nas aulas, pois quando apresentado às simulações isoladamente, Celso conseguiu compreender as formas representadas. As circunstâncias da pesquisa impossibilitaram uma avaliação mais profunda da eficiência das simulações na representação de formas para o estudante Celso, pois não havia como ele reproduzir e me apresentar as imagens ouvidas por meio de desenhos ou modelagens em alto-relevo, como foi feito na pesquisa de Merabet e Sánchez (2009) conforme mostra a Figura 4; todavia, os relatos do estudante sugerem a possibilidade de aplicação das simulações como método de ensino de estudantes com deficiência visual.

Em consonância aos critérios de avaliação propostos por Sabatini (2012), analisei as entrevistas com os participantes quanto à precisão das simulações auditivas. A partir dos desenhos elaborados pelo estudante vidente na Figura 11, pude evidenciar imprecisões especificamente relacionadas à representação de arcos com concavidade para esquerda e para a direita. Acredito que este problema possa ser solucionado por meio da alteração da velocidade de reprodução de códigos desta natureza, fazendo com que a variação da posição horizontal do elemento representado, representada pela variação da intensidade sonora nos canais estéreo, ocorra mais lentamente.

Os desenhos de João nas Figuras 12 e 13 mostram que o estudante compreendeu precisamente a orientação e direção das representações segmentos de reta; os relatos de Celso também indicam sucesso nestas representações, apesar de eu não poder avaliá-los com a precisão que avalei os desenhos do estudante vidente. Além de indicar a eficiência para o ensino de força elétrica e campo elétrico, esses resultados apresentam a possibilidade de aplicar as simulações no ensino de outras grandezas vetoriais. Mesmo que a representação da posição horizontal das simulações não seja de grande precisão, é possível distinguir o comprimento dos segmentos de reta, o que viabiliza a associação entre o valor numérico de uma grandeza vetorial e sua representação geométrica, comparativamente.

Os códigos de sonorização associados aos fragmentos de âmbar, aos tecidos, ao processo de atrito e às cargas elétricas foram avaliados positivamente pelos participantes. Entendo que o fato de Celso ter demonstrado tanto interesse na Aula 1 esteja intimamente relacionado ao sucesso dos códigos supracitados. Eu já esperava uma performance superior desses códigos em comparação às linhas de campo e vetores, pois eles representam elementos concretos, o que supostamente exige um grau menor de abstração para a sua compreensão. Avaliando as simulações quanto a clareza, conforme sugerido por Sabatini (2012), entendo que a representação tanto dos objetos quanto das grandezas físicas foi clara para os estudantes, porém o nível de clareza dos objetos pareceu-me superior.

Os dois participantes se mostraram motivados a estudar os conteúdos das aulas por meio das simulações auditivas, outro critério de avaliação proposto por Sabatini (2012). Celso expressou sua motivação diversas vezes quando afirmava ouvir repetidamente as aulas a fim de compreender melhor seus conteúdos. João mostrou-se entusiasmado com o método utilizado, tentando representar as simulações em forma de desenhos mesmo antes de ser solicitado a fazê-lo. Tanto Celso quanto João me questionaram sobre a possibilidade de aplicar o método aqui desenvolvido nas aulas da escola onde estudam.

Conforme mostrado no item 3.5 desta tese, a organização das aulas apresentou um nível crescente de complexidade das simulações, partindo da representação de objetos concretos e terminando com representações de múltiplas linhas de campo elétrico. Julgo que o conteúdo abordado foi suficiente para ensino introdutório dos temas, fornecendo as bases para estudos mais aprofundados desses. Dessa forma, avalio as simulações positivamente quanto aos critérios de organização e plenitude propostos por Sabatini (2012).

A avaliação geral que faço das aulas em áudio, proposta por Sabatini (2012), é positiva e motivadora. A utilização das simulações auditivas na elaboração deste método de construção

de conhecimentos sobre conceitos do Eletromagnetismo propiciou a compreensão de imagens de forma satisfatória, resultando em evidências que sugerem a ocorrência de substituição sensorial visual-auditiva. Existe espaço para aperfeiçoamento dos códigos adotados a fim de sanar as dificuldades aqui discutidas, porém entendo que esta pesquisa atingiu satisfatoriamente os objetivos estipulados.

Os relatos dos participantes sobre o entendimento do posicionamento e direção dos elementos das simulações, tanto dos objetos concretos quanto das representações de campo e força elétrica, indicam a solução dos problemas de comunicação gerados pelas linguagens 1 – audiovisual interdependente/significado vinculado às representações visuais e 3 – auditiva e visual independentes/significado vinculado às representações visuais, apontadas por Camargo (2012). Como apontando pelo autor na mesma obra, não há diferenças cognitivas entre pessoas videntes e cegas provocadas pela deficiência; são barreiras comunicacionais que às vezes impedem o estudante com deficiência visual de aprender. Assim sendo, vencer essas barreiras significa facilitar o acesso de estudantes cegos e de baixa visão aos conhecimentos escolares.

Acredito que esta pesquisa contribui na busca de soluções de acessibilidade que, além de viabilizar a aprendizagem de pessoas com deficiência visual, fornece ao professor uma alternativa às maquetes e figuras em alto-relevo que vêm sendo utilizadas em outras pesquisas da área, conforme Perez, Rocha Filho e Lahm (2018). Dessa forma, o docente é capaz de tornar suas aulas acessíveis sem aumentar significativamente sua carga de trabalho e despesas na construção recursos físicos.

#### 4 CONSIDERAÇÕES E PERSPECTIVAS

A pesquisa de Camargo (2012) aponta que as principais dificuldades apresentadas por estudantes cegos na aprendizagem de conceitos do Eletromagnetismo não estão relacionadas ao conteúdo em si. Existem inviabilidades na comunicação do professor com os alunos, pois esse por vezes utiliza linguagens vinculadas ou indissociáveis de representações visuais. Dentre as quatro linguagens que causam estas dificuldades, duas podem ser superadas por meio de representações não visuais dos elementos utilizados em sala de aula, as linguagens 1 – audiovisual interdependente/significado vinculado às representações visuais e 3 – auditiva e visual independentes/significado vinculado às representações visuais.

Na pesquisa de estado do conhecimento anteriormente realizada e aqui relatada (PEREZ; ROCHA FILHO; LAHM, 2018), mostramos que pesquisadores da área de Ensino de Física apresentam preocupação com relação ao ensino de estudantes com deficiência visual, fornecendo soluções práticas aos problemas tipicamente encontrados em sala de aula. Estas, entretanto, baseiam-se, em sua maioria, na utilização de recursos táteis. Apesar desses se mostrarem eficientes no ensino dos tópicos propostos pelos pesquisadores, apresentam algumas dificuldades de ordem prática na sua elaboração e aplicação, como o tempo necessário para o desenvolvimento, reprodução e transporte de maquetes e outros materiais em alto-relevo.

De forma geral, objetos de aprendizagem são uma alternativa viável a experimentos de alto custo, difícil transporte e outras inviabilidades, pois representam virtualmente fenômenos naturais, viabilizando o estudo de fenômenos micro e macroscópicos. Existem diversos repositórios online contendo OA de diversos conteúdos, porém são poucos aqueles que apresentam acessibilidade para estudantes cegos e de baixa visão, ainda que em processo de desenvolvimento.

As pesquisas realizadas por Auvray et al. (2005), Auvray, Hanne-ton e O'regan (2007), Bach-y-Ritta et al. (1969), Bach-y-Ritta e Ker-cel (2003), Connors et al. (2014), Merabet et al. (2012) e Merabet e Sánchez (2009) apontam um possível caminho para solucionar o problema de acessibilidade de deficientes visuais à recursos imagéticos: a substituição sensorial visual-auditiva. Estas pesquisas mostram que é possível representar imagens por meio da codificação destas em áudio, fazendo com que o indivíduo construa representações mentais de objetos e lugares. De acordo com a pesquisa de estado do conhecimento realizada (PEREZ; ROCHA



FILHO; LAHM, 2018), este recurso ainda não havia sido utilizado para o ensino de Física de estudantes cegos e de baixa visão.

Nesta pesquisa, criei um método de construção de conhecimentos de conceitos do Eletromagnetismo capaz de representar esses conceitos de forma auditiva. Os resultados aqui apresentados sugerem a manifestação da substituição sensorial visual-auditiva a partir da experimentação com as simulações auditivas que desenvolvi. Os participantes da pesquisa foram capazes de identificar objetos, vetores de força e campo elétricos e linhas de campo elétrico de forma satisfatória a partir de suas representações sonoras.

A interação dos participantes com os materiais desenvolvidos ocorreu de forma remota, devido às restrições impostas pela pandemia de COVID-19. Isso não impediu que os objetivos da pesquisa fossem alcançados, porém entendo que os resultados oriundos do processo de análise poderiam ser de maior profundidade se a parte prática deste trabalho tivesse ocorrido presencialmente. Por mais que a descrição verbal da percepção do estudante cego no uso das simulações tenha trazido resultados importantes e satisfatórios para esta tese, entendo que a utilização de massa de modelar – e outros materiais que possam expressar as formas geométricas compreendidas pelo participante – aumentariam o meu entendimento acerca da precisão das simulações.

As formas geométricas que cada simulação pretende representar são descritas verbalmente da Aula Zero. Essa abordagem permite que as simulações sejam utilizadas remotamente pelo estudante, sem a necessidade de um professor ou tutor para que auxiliar na associação entre os sons reproduzidos e as formas representadas. Presencialmente, é possível que essa assimilação seja mais rápida com o auxílio de materiais táteis, de forma que o estudante possa ouvir a simulação simultaneamente à experimentação háptica da mesma forma geométrica. Esta hipótese será testada em pesquisas futuras.

Além da consecução dos objetivos apresentados nesta tese, os resultados indicam a possibilidade de aplicar a essência do método que desenvolvi no ensino de outras áreas do conhecimento que dependam de representações imagéticas para sua compreensão. Em posse de dispositivos capazes de reproduzir arquivos de áudio, acredito que professores e professoras possam tirar grande proveito de simulações auditivas como as que criei, tornando a sala de aula um ambiente mais inclusivo e o conhecimento mais acessível a todos.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, E. *Utilização da didática multissensorial no ensino de física para alunos deficientes visuais*. Rio de Janeiro: Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2011. Dissertação (mestrado).
- ARANTES, A.; MIRANDA, M. S.; STUDART, N. Objetos de aprendizagem no ensino de Física. *Física na Escola*, 11(1), 27 (2010). Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol11/Num1/a08.pdf>>. Acesso em 01 de nov. de 2018.
- AUVRAY, M.; HANNETON, S.; LENAY, C.; O'REGAN, K. There is something out there: distal attribution in sensory substitution, twenty years later. *Journal of Integrative Neuroscience, World Scientific Publishing*, v. 4, n. 4, 2005.
- AUVRAY, M.; HANNETON, S.; O'REGAN, J. K. Learning to perceive with a visuo-auditory substitution system: Localization and object recognition with 'The vOICe'. *Perception*, n. 36, p. 416-430, 2007.
- AZEVEDO, A. *Produção de material didático e estratégias para o ensino de física para alunos portadores de deficiência visual*. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012. Dissertação (mestrado).
- BACH-Y-RITA, P.; COLLINS, C.C.; SAUNDERS, F.A.; WHITE, B.; SCADDEN, L. Vision substitution by tactile image projection. *Nature*, v. 221, p. 963–964, 1969.
- BACH-Y-RITTA, P.; KERCEL, S. Sensory substitution and the human–machine interface. *Trends in Cognitive Sciences*, v. 7, n. 12, dez. De 2003.
- BOTTOMORE, T. (Org.). *Dicionário do pensamento marxista*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1988.
- BRASIL. Decreto nº 7.611, de 17 de novembro de 2011. Dispõe sobre a educação especial, o atendimento educacional especializado e dá outras providências. Diário Oficial da União n. 221, Brasília, DF, 18 nov. 2011. Seção 1, p. 12.
- CAMARGO, E. P. *Saberes docentes para a inclusão do aluno com deficiência visual em aulas de física* [online]. São Paulo: Editora UNESP, 2012. 274 p.
- CARVALHO, J. C. *Ensino de física e deficiência visual: possibilidades do uso do computador no desenvolvimento da autonomia de alunos com deficiência visual no processo de inclusão escolar*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2015. Tese (doutorado).
- COHEN, M.; WENZEL, E. The design of multidimensional soundinterfaces. In: BARFIELD, W.; FURNESS, T. (org.). *Virtual environments and advanced interface design*. Oxford University Press Inc, New York, 1995, p. 291–346.
- CONNORS, E. C.; YAXXOLINO, L. A.; SÁNCHEZ, J.; MERABET, L. B. *Development of a Audio-based Virtual Gaming Environment to Assist with Navigation Skills in the Blind*. J Vis Exp. 2014. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3641639/pdf/nihms546296.pdf> Acesso em: 01 nov. de 2018.
- CUERVO, L.; MAFFIOLETTI, L. Musicalidade e Amusia: interfaces de um mesmo ser musical. *Anais do XI Simpósio Internacional de Cognição e Artes Musicais*, 2015.

- DURETTE, B.; LOUVETON, N.; ALLEYSSON, D.; HÉRAULT, J. Visuo-auditory sensory substitution for mobility assistance: Testing TheVIBE. In: *Workshop on Computer Vision Applications for the Visually Impaired*, p. 1–13, 2008.
- EVANGELISTA, F. L. *O ensino de corrente elétrica a alunos com deficiência visual*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008. Dissertação (mestrado).
- FEELIF. Página institucional da empresa, 2018. Disponível em <<https://www.feelif.com/>>. Acesso em 01 de nov. de 2018.
- FERREIRA, M. *Uma abordagem para o ensino de física a alunos deficientes visuais: um olhar diferente para o espelho*. Belo Horizonte: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2014. Dissertação (mestrado).
- FURIÓ, C.; GUIASOLA, J. La enseñanza del concepto de campo eléctrico basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 19, n. 2, p. 319-334, 2001.
- GIL, A. C. *Método e técnicas de pesquisa social*. 6ª. ed. São Paulo: Atlas S.A, 2008.
- GROSSI, M. C. Ensino de física inclusivo envolvendo alunos com deficiência visual na educação de jovens e adultos. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2016. Dissertação (mestrado).
- KOPER, R. Combining re-usable learning resources to pedagogical purposeful units of learning. In: LITTLEJOHN, A. (ed.). *Reusing online resources: a sustainable approach to eLearning*. Londres: Kogan Page, 2003.
- KRAPAS, S.; SILVA, M. O conceito de campo: polissemia nos manuais, significados na física do passado e da atualidade. *Ciência & Educação*, v. 14, n. 1, p. 15-33, 2008.
- LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. São Paulo: EPU, 1986.
- MANSKE, N. *Ensino de física para deficientes visuais: materialização de figuras do livro didático*. Belo Horizonte: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2013. Dissertação (mestrado).
- MANZINI, E. J. *A entrevista na pesquisa social*. São Paulo: Didática. v. 26/27, p. 149-158, 1990/1991.
- MARTINS, A. *Representação de figuras do livro didático de física: uma proposta para a melhoria da autonomia dos estudantes cegos*. Belo Horizonte: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2013. Dissertação (mestrado).
- MEDEIROS, G. *Olhar Para O Sol: concepção da análise fenomenológica hermenêutica*. Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2016. Dissertação (mestrado).
- MEIJER, P. An Experimental System for Auditory Image Representations. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, v. 39, n. 2, p. 112-121, fev. de 1992.
- MERABET, L. *Blindness is just another way of seeing | Lotfi Merabet | TEDxCambridge*. 2014. (15m15s). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=B-xI3YxAPW4>>. Acesso em: 02 dez. 2018.
- MERABET, L.; CONNORS, E.; HALKO, M.; SÁNCHEZ, J. Teaching the Blind to Find Their Way by Playing Video Games. *PLoS ONE*, 2012.

- MERABET, L.; SÁNCHEZ, J. *Audio-Based Navigation Using Virtual Environments: Combining Technology and Neuroscience*. AER Journal: Research and Practice in Visual Impairment and Blindness. v. 2, n. 3, 2009.
- NANONE, N. J. *Produção e aplicação de maquetes como ferramenta para aulas de astronomia*. Ilhéus: Universidade Estadual de Santa Cruz, 2017. Dissertação (mestrado).
- NISBET, J.; WATT, J. *Case study*. Readguide 26: Guides in Educational Research. University of Nottingham School of Education, 1978.
- OPPITZ, S.; SILVA, L.; GARCIA, M.; SILVEIRA, A. High-frequency auditory thresholds in normal hearing adults. *CoDAS*, São Paulo, v. 30, n. 4, e20170165, 2018. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2317-17822018000400308&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2317-17822018000400308&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 04 dez. 2020.
- PERETZ, I.; CHAMPOD, A.; HYDE, K. Varieties of Musical Disorders: the Montreal Battery of Evaluation of Amusia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2013.
- PEREZ, M.; ROCHA FILHO, J.; LAHM, R. Estado do conhecimento sobre tecnologias assistivas de caráter auditivo no ensino de física de alunos com deficiências visuais. *Revista Atlante: Cuadernos de Educación y Desarrollo*. Maio de 2018.
- SABATINI, M. Reflexões críticas sobre o conceito de objeto de aprendizagem aplicado ao ensino de ciências e matemática. *EM TEIA – Revista de Educação Matemática e Tecnológica Iberoamericana*. v. 3, n. 3, 2012.
- SÁNCHEZ, J.; TADRES, A.; PASCUAL-LEONE, A.; MERABET, L. Blind children navigation through gaming and associated brain plasticity. In: *Virtual Rehabilitation 2009 International Conference*. Proceedings. Haifa, Israel, IEEE, p. 29-36, 2009.
- SANTOS, A. L. *Atividades multissensoriais para o ensino de física*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2016. Tese (doutorado).
- SEEINGWITHSOUND. *Totally blind man seeing a fork with The vOICe sensory substitution smart glasses*. 2017. (2m10s). Disponível em: <<https://www.youtube.com/user/smartsight>>. Acesso em: 05 dez. 2018.
- SETHARES, W. *Tuning, Timbre, Spectrum, Scale*. Londres: Editora Springer, 2014. 345 p.
- TRIVIÑOS, A. N. S. *Introdução à Pesquisa em Ciências Sociais: a pesquisa qualitativa em educação*. São Paulo: Atlas, 1987.
- VIVEIROS, E. *Mindware semiótico-comunicativo: campos conceituais no Ensino de física para deficientes visuais utilizando uma Interface cérebro-computador*. Bauru: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2013. Tese (doutorado).
- VYGOTSKY, L. S. *A Formação Social da Mente*. Martins Fontes: São Paulo, 1991.
- WILEY, D. Connecting learning objects to instructional design theory: a definition, a metaphor and a taxonomy. In: *The instructional use of learning objects*, 2000 [online]. Disponível em: <<http://www.reusability.org/read/chapters/wiley.doc>>. Acesso em 01 nov. 2018.

## ANEXO 1 – TRANSCRIÇÃO DAS ENTREVISTAS

### Caso 1 – “Celso”

#### Entrevista inicial: conhecimentos prévios

Miguel: O que você entende por eletricidade?

Celso: Ah, sor, tem vários tipos de eletricidade, não? Tem eletricidade elétrica, eletricidade... não sei, agora, me deu um branco agora. Energia elétrica não é a que tem positivo, negativo... é tipo isso, não?

Miguel: É tipo isso sim, Celso. Nesse primeiro momento eu não vou responder às tuas dúvidas, porque a ideia é saber o que tu pensas. Não tem certo ou errado, tá? Quero só saber o que tu pensas.

Celso: Tá bem, sor.

Miguel: No inverno, quando tiramos um blusão do corpo após usá-lo por algumas horas, às vezes escutamos alguns estalos. Você já escutou esses estalos alguma vez? O que você acha que causa esse som?

Celso: Não sor, nunca reparei nisso. Acho que o que causa isso é que tá aquecido, não? Agora não sei.

Miguel: Você já levou um choque elétrico ao encostar em outra pessoa ou na maçaneta de uma porta ou veículo? Como você explica esse fenômeno?

Celso: Já, quando encostei numa maçaneta, já levei um choque, parecia um choque, mas não sei o que causa isso, acho que é alguma energia.

Miguel: O que você entende por força elétrica?

Celso: É a que tem positivo, negativo... é tipo isso, não? Energia elétrica.

Miguel: O que você entende por campo elétrico?

Celso: Não sei dizer, sor.

Impressões de Celso após ouvir a Aula Zero

Celso: Tenho que pegar o costume de ouvir esses sons aqui, mas vou pegar sim, sor. Vou me empenhar bastante, vou escutar direto essa aula aqui. Esses sons agudo e grave aí, são muito fáceis de confundir, são muito parecidos, acho que se fosse sons de instrumentos musicais diferentes talvez fosse mais fácil, para saber se tá em cima ou embaixo, até porque todo cego gosta de música. Mas tá muito bom, sor, gostei muito. Entendi que o agudo é o que tá em cima e o grave é o que tá embaixo.

#### Impressões de Celso após ouvir a Aula 1

Celso: Achei bem boa a aula, bem explicativa, até aprendi um pouco, como começou a energia... bem bacana, sor, gostei mesmo.

#### Impressões de Celso após ouvir a Aula 2

Celso: Gostei muito, bem explicativa, gostei, mas eu não sei se tô no caminho certo, sor, entendendo bem, mas pelo que entendi, a lâ gera energia, o que que causa o casaco de lâ dar o estralo, o corpo também gera energia, e quando dá o conflito de um com o outro, quando a gente tira ou coloca o casaco de lá dá o estralo porque é o impacto das energias se cruzando, o positivo e o negativo, é isso? Essa dúvida que fiquei, mas pelo que entendi foi isso, se puder me esclarecer, vai me ajudar, muito obrigado sor.

Miguel: Não é exatamente isso, Celso. O som é a energia que o elétron libera ao saltar de um corpo para o outro. Ele salta pela diferença de cargas gerada pelo processo de atrito.

Celso: Sim sor, essa parte eu entendi, a hora que eu fui tirar dúvida contigo eu não me expressei muito bem, essa parte eu entendi, é o elétron que sai da lâ e volta pro corpo que dá o estralo depois, o elétron negativo, já que a lâ, quando esfrega no corpo, causa aquela energia positiva e negativa.

Miguel: Essa resposta já está mais próxima do conceito, sim. E a parte de força elétrica? Conseguiu entender os sons que usei para representar as cargas? E os sons para mostrar a direção da força elétrica? O que achou dessa parte? Tudo o que tu me disseres é muito importante.

Celso: Acho que entendi, sor. É que nem um imã, né? Pra juntar tem que ter um positivo e um negativo, se não, não se junta.

Miguel: Sim, é a mesma ideia do imã, a comparação está perfeita, só que no imã nós chamamos de polos norte e sul, ao invés de positivo e negativo, mas isso é apenas um detalhe.

Celso: Os sons estão muito bons. Os sons para ver se é o positivo ou o negativo estão muito bons!

#### Impressões de Celso após ouvir as Aulas 3 e 4

Celso: Fiquei com algumas dúvidas, desculpa, sor. O newton e o coulomb, pra cada coulomb que tiver no campo de energia é cinco newtons, não é? E eu ainda tenho que pegar o costume de ouvir as coisas desse jeito. E outra coisa, sor, a tomada é um campo de energia, né? Uma tomada em uma casa, desligada.

Miguel: Respondendo a primeira pergunta, aquele exemplo que dei dos 5 newtons por coulomb é apenas um exemplo. A unidade de campo elétrico é newton por coulomb, o campo pode ter qualquer valor, depende da situação. Se o valor for cinco newtons por coulomb, e eu colocar uma carga de dois coulombs nessa região, a força vai ser dez newtons; se a carga for de três coulombs, a força vai ser de quinze newtons. Se o campo for de dez newtons por coulomb, e a carga for de dois coulombs, a força sobre a carga vai ser de vinte newtons, e assim por diante. Sobre a tomada, sim, tem um campo elétrico ali, muito bem! Mas é um pouco diferente. É um campo elétrico que fica mudando o sentido, então o elétron fica indo e voltando, por isso que dizemos que a nossa casa funciona com corrente alternada. Esse é um outro conteúdo, um pouco mais avançado, mas muito boa a tua percepção!

Celso: Eu também tenho que pegar o costume de saber a distância da carga pro campo de eletricidade. Eu não estou acostumado com isso daí ainda, até de peço desculpas, sor.

Miguel: Tu dizes a distância nas simulações? Não tem como saber exatamente, medidas precisas como dez centímetros, vinte centímetros etc., apenas uma noção geral, se a carga está mais para um lado ou para o outro. Falando nisso, eu gostaria de saber como está o teu entendimento dos códigos que estou usando, se estás entendendo as formas geométricas, os desenhos com os sons. Ah, e não precisa pedir desculpas, é normal não saber as coisas. Estou percebendo que tu estás aprendendo a parte conceitual muito bem.



Celso: Quando tem o som do positivo e do negativo eu consigo identificar bem, mas quando tem os sons da esquerda e da direita, os assobios, ali eu ainda tenho um pouco de dificuldade, porque eu não estou acostumado ainda. Até te peço desculpas, mas eu vou me acostumar.

Miguel: Sem problemas, é importante tu me dizer, se quiser, eu posso te mandar de forma isolada os códigos para saber o que tu estás entendendo ou não, o que tu achas?

Celso: Acho uma boa sor. Sendo bem honesto contigo, estou com bastante dificuldade, mas eu entendo o que é a diagonal.

Impressões de Celso ao ouvir as simulações de linhas de campo isoladamente

Miguel: (reprodução do código sonoro referente a uma linha vertical, orientada de baixo para cima) Neste som, a linha está subindo ou descendo?

Celso: Acho que tá subindo, sor.

Miguel: Muito bem! (reprodução do código sonoro referente a uma linha vertical, orientada de cima para baixo) E esta linha, subindo ou descendo?

Celso: Ouvi algumas vezes aqui, sor. Eu confundo muito esse agudo e grave, mas pra mim essa daí está descendo.

Miguel: Certo, mais uma vez! (reprodução do código sonoro referente a uma linha horizontal, orientada da esquerda para direita, iniciando no centro do espaço virtual) E essa linha, está indo para esquerda ou para direita?

Celso: Aqui para mim tá indo pra esquerda, sor.

Miguel: Deixa eu testar uma coisa. (reprodução de um som apenas no canal direito). Tá escutando esse som em qual fone? No esquerdo ou no direito?

Celso: Aqui eu tô ouvindo só no esquerdo.

Miguel: Então tu precisas inverter os fones, Celso. Tu os colocaste invertidos.

Celso: Desculpa, sor. Troquei eles aqui, agora estou ouvindo esse último som só no fone direito, e o outro áudio tá indo para a direita.

Miguel: Muito bom! Onde está começando essa linha?

Celso: Acho que bem no meio, sor.

Miguel: Isso Mesmo. (Reprodução do código sonoro referente a uma linha diagonal ascendente, orientada da direita para esquerda. E essa linha aqui, está indo para que lado?)



Celso: Para a esquerda.

Miguel: E está subindo ou descendo?

Celso: Subindo. Essa é a diagonal, né sor?

Miguel: Perfeito! (reprodução do código sonoro de uma curva semelhante a um arco, orientando da esquerda para direita, ascendente da esquerda ao centro e descendente do centro à direita) E que som é esse?

Celso: Sobe depois desce, tá indo da esquerda pra direita.

Miguel: Ótimo! Tu consegues associar esse som ao arco?

Celso: Eu tenho dificuldade de usar os fones, sor. Não estou acostumado, às vezes coloco invertido e não me dou conta de mudar pro lado certo. Mas consegui entender quando é da direita pra esquerda e da esquerda para direita, para cima e para baixo, até a diagonal, mas tenho mais dificuldade, sor. O mais difícil de todos é o arco. Mas entendi, sor, muito bom, só tenho que me acostumar, às vezes confundo um arco com outro. O negócio é continuar ouvindo todo dia. Esse trabalho é muito bom sor, de verdade. Eu fico muito feliz em estar participando disso, muito obrigado!

Miguel: Eu que agradeço!

## Entrevista final

Miguel: Como você avalia a sua experiência com as simulações, de forma geral?

Celso: Olha, sor, para mim foi um grande aprendizado, porque eu não sabia que a eletricidade tinha sido inventada na Grécia, a história né, sor. Ainda tenho que aprender mais, mas com certeza, de pegar a prática de está ouvindo direito essas aulas, esses sons no fone de ouvido, eu aprender mais ainda, foi muito bom. Eu acho, numa autocrítica pra mim, que eu não fui tão bem, sor. Eu deveria ter me dedicado mais, mas com certeza eu vou ouvir todo dia. Eu também aprendi que todo tecido pode gerar energia, foi muito bom isso.

Miguel: O que você achou sobre os códigos sonoros adotados nas simulações?

Celso: A nota que dou para os códigos, para mim, quanto de clareza teve, por enquanto, como não estou acostumado, a nota é 6. Mas assim que eu tiver a prática de ouvir eles melhor ainda, olha... vai ser nota 10, com certeza! Depois dos áudios isolados, melhorou mais ainda, essa

parte de esquerda, direita, para baixo e para cima, mas por enquanto é nota 6 ainda. Agora a tendência é eu melhorar a minha compreensão, pegar bem esses códigos aí.

Miguel: Com certeza. As outras pesquisas mostram que quanto mais ouvimos esse tipo de simulação, mais natural fica. Agora a próxima pergunta: Para você, quais foram as formas geométricas mais fáceis de serem identificadas?

Celso: Para fim ficou mais nítido quando está em linha reta, o som.

Miguel: Quando tu afalas em linha reta, é na horizontal? De um lado para o outro?

Celso: Sim, de um lado para o outro, na horizontal.

Miguel: Para você, quais foram as formas geométricas mais difíceis de serem identificadas?

Celso: Ah, os arcos e a diagonal, também. Um pouco mais complicado de identificar, como não estou acostumado.

Miguel: Como você avalia os códigos utilizados para as representações em geral, como cargas positivas e negativas, âmbar, lã, processo de atrito etc.?

Celso: Olha sor, esses códigos aí, muito bons! Deu pra identificar bem, tanto o som do positivo, o do negativo, o da lã também. Muito bom, olha, nota 10! Está com bastante clareza para deixar um diferente do outro.

Miguel: Quais sugestões você apresenta para a melhoria das simulações?

Celso: Que nem eu tinha te mandando, colocar alguns sons diferentes. Quando for diagonal, um som, quando for linha reta outro. Mas isso daí é tranquilo, como eu disse, até eu pegar a prática, vou entender bem. Outra sugestão é misturar música, o que tu acha, sor? Uma guitarra... só uma sugestão, até porque não tem quem não goste de música.

Miguel: Dá para colocar, sim. Até na aula que conto a história da eletricidade eu coloquei uma música grega... Acho que no futuro, para aplicação em sala de aula, vou colocar mais músicas. Próxima pergunta: O que você entende por eletricidade?

Celso: Tudo gera eletricidade, o corpo da gente, o tecido, a lã, tudo isso gera eletricidade. A lã entrando em atrito com o corpo da gente, dá um atrito. Positivo e negativo, mais ou menos isso, né? Desculpa se falei alguma bobagem, sor. É que agora eu estou meio... confuso.

Miguel: No inverno, quando tiramos um blusão do corpo após usá-lo por algumas horas, às vezes escutamos alguns estalos. Você já escutou esses estalos alguma vez? O que você acha que causa esse som? Na primeira vez, tu me disseste que nunca tinha ouvido esses estalos.

Celso: Eu já tinha percebido isso, só que eu sempre achei que era por causa do sol. Só que não, agora eu sei que não é o sol, é que como tem carga de energia na lâ e no corpo da gente também, eles entram em atrito. Quando a gente tira a carga negativa causa esse estalo, e a positiva fica no corpo da gente, por isso que causa esse estalo. Só não decorei os nomes.

Miguel: Você já levou um choque elétrico ao encostar em outra pessoa ou na maçaneta de uma porta ou veículo? Como você explica esse fenômeno?

Celso: Sim, já levei. O que eu acho que causa isso é a carga de energia que entra em atrito, a maçaneta com a pessoa, o que causa o choque. Os elétrons ali, o corpo da gente com o de outra pessoa, que também tem carga de elétron, e causa o choque, seria isso?

Miguel: É quase isso. Essa parte eu não falei nas aulas, mas quando levamos um choque é porque, antes de entrar em contato, um dos dois tinha mais elétrons que o outro, então ocorre uma descarga elétrica, os elétrons saltam para o corpo positivo, sem precisar do processo de atrito. Próxima pergunta: O que você entende por força elétrica?

Celso: Em um campo de energia, quanto mais newtons, maior a força. Talvez eu falei bobagem. É aquilo do parecido com o imã, que repele e atrai, quando é negativo com negativo se afasta. Também sei que quando tá perto é forte e quando tá longe é fraco, a linha é mais curta.

Miguel: O que você entende por campo elétrico?

Celso: É o campo de elétrico de energia, né? Quanto mais newtons, mais força...

Miguel: É sobre isso Celso, mas não é bem esse o conceito, isso é das duas últimas aulas, acho que tu teve um pouco de dificuldade para entender esses dois conceitos, não? O campo elétrico é uma região em que, se colocarmos alguma carga elétrica ali, essa carga sofre força.

Celso: Não foi dificuldade não, sor... agora que tu falou das duas últimas aulas eu lembrei, é que eu estou um pouco nervoso... um pouco confuso e nervoso. Desculpa. Mas eu sei que o campo também fica mais forte quando tá mais perto, mais fraco quando tá longe.

Miguel: Não precisa pedir desculpas, Celso, não tem problema nenhum, e não precisa ficar nervoso, tu foste muito bem. Agora, para finalizar, tu gostarias de escolher o teu nome falso para eu usar na pesquisa? O comitê de ética pede para que eu proteja a tua identidade, como conversamos.

Celso: Pode ser Celso, então. Então tá bem, sor. Quero te agradecer mais uma vez por toda a paciência que teve comigo, e desculpa pelos erros.

Miguel: Eu que agradeço, Celso, e não precisa pedir desculpas por errar, é normal e faz parte do processo de aprendizagem.

## Caso 2 – João

Entrevista inicial: conhecimentos prévios

Miguel: O que você entende por eletricidade?

João: É o fluxo de elétrons em relação a polos negativos e positivos.

Miguel: No inverno, quando tiramos um blusão do corpo após usá-lo por algumas horas, às vezes escutamos alguns estalos. Você já escutou esses estalos alguma vez? O que você acha que causa esse som?

João: O atrito entre o tecido e a pele.

Miguel: Você já levou um choque elétrico ao encostar em outra pessoa ou na maçaneta de uma porta ou veículo? Como você explica esse fenômeno?

João: A diferença de cargas entre as superfícies.

Miguel: O que você entende por força elétrica?

João: É a unidade elétrica de uma quantidade de trabalho por um deslocamento específico.

Miguel: O que você entende por campo elétrico?

João: Uma área carregada com cargas positivas ou negativas. Não tenho muita ideia sobre este conceito.

## Impressões de João após ouvir a Aula Zero

João: Vou ouvir mais algumas vezes pra pegar bem, mas dá pra visualizar.

Miguel: Ótimo!

João: Eu não esperava o arco, achei muito legal mesmo!

Miguel: Teve alguma dificuldade?

João: Em alguns momentos eu me esqueci o que era esquerda e direita, mas isso é falha minha.

Miguel: Que bom que funcionou!

João: Sim, gostei muito.

#### Impressões de João após ouvir a Aula 1

João: Muito legal. Os efeitos sonoros da Grécia Antiga (risos). Dá pra entender muito bem os materiais e o movimento que eles fazem

Miguel: tu dirias que conseguiu "visualizar"?

João: Sim. Filosofando um pouco, é meio difícil eu separar a experiência visual da auditiva. Tipo, o exercício de imaginação é facilitado, creio eu, por enxergar.

Miguel: minha tese é sobre isso, substituição sensorial visual-auditiva. Nosso cérebro faz associações.

João: Vou querer ler depois!

#### Impressões de João após ouvir a Aula 2

João: Muito bom. Alguma previsão de aplicar esse método lá na escola?

Miguel: Olha... por enquanto é a minha tese, depois que defender acho que vou continuar a pesquisa lá. Teve alguma dificuldade?

João: Não sei dizer, eu tenho certa familiaridade com os conceitos. O som das cargas são bem fáceis de reconhecer, já que é a primeira sílaba das palavras.

Miguel: Ótimo. Não ficou nada confuso? Conseguiu entender a representação das forças?

João: A representação sim. A localização fica bem fácil.

Miguel: Ah, excelente!!

João: É força elétrica o nome do evento? Meu cérebro apagou essa parte (risos).

Miguel: Sim, sim (risos).

João: Eu respondi energia estática no formulário.

Miguel: Quando terminarmos tu vais responder novamente.

João: Que bom! (risos)

Impressões de João após ouvir as aulas 3 e 4

João: Eu assisti aos vídeos. Vou reassistir em outro momento porque, sei lá, muita coisa na cabeça hoje, mas consegui compreender os conceitos.

Miguel: Que bom!

João: (Após revisar as aulas) achei bem bacana, o ponto da visualização ainda me surpreende com a precisão.

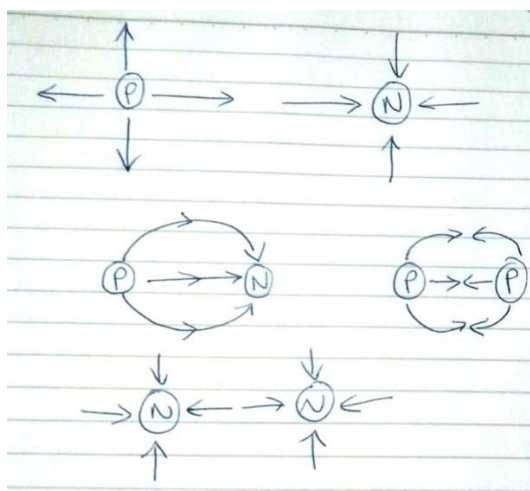
Miguel: Ótimo! Quer fazer um exercício?

João: Sim!

Miguel: Desenhar as linhas de campo da forma que tu ouviste

João: Eu fiz enquanto ouvia, vou te mandar.

Figura 11 – Representações das linhas de campo elétrico elaboradas pelo participante “João”.



Fonte: Participante “João”, 2020.

Miguel: Interessante. Essas duas últimas eu imaginei que poderiam não ficar tão claras, e de fato não ficaram. As três primeiras estão perfeitas.

João: Ah, verdade. Aquela do positivo com positivo eu imaginei aquilo que desenhei, mas tive um pouco de dificuldade pra compreender.

Miguel: Quer ver como é a representação em imagem?

João: Sim.

Miguel: (envio de uma imagem representando as linhas de campo elétrico para pares de carga com mesmo sinal)

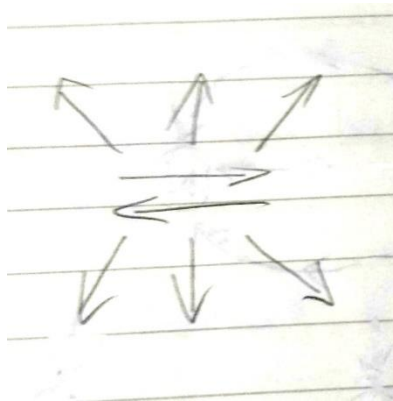
João: Ah, entendi! Acho que talvez explicando que fica um espaço meio vazio entre elas melhoraria, mas não sei se é correto falar isso.

Miguel: É correto, sim. A minha ideia era que o som por si próprio representasse isso, foi bom receber esse teu retorno.

Miguel: (envio de áudio representando as linhas de campo elétrico gerado por carga positiva, descontextualizado) Pode tentar desenhar isso também?

João: Claro.

Figura 12 – Primeiro desenho feito por “João” ao ouvir a simulação descontextualizada das linhas de campo elétrico geradas por carga positiva.

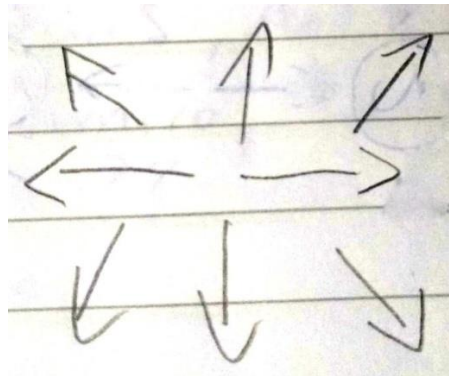


Fonte: Participante “João”, 2020.

Miguel: É quase isso. Presta atenção onde começam as linhas horizontais.

João: Certo, vou ouvir de novo.

Figura 13 – Segundo desenho feito por “João” ao ouvir a simulação descontextualizada das linhas de campo elétrico geradas por carga positiva.



Fonte: Participante “João”, 2020.

Miguel: Perfeito! Essas são as linhas de campo gerado por carga positiva.

João: Muito bom.

Entrevista final

Miguel: Como você avalia a sua experiência com as simulações, de forma geral?

João: Muito boa.

Miguel: O que você achou sobre os códigos sonoros adotados nas simulações?

João: Indicam bem o sentido das linhas e suas posições.

Miguel: Você acredita que conseguiu compreender com clareza todos os códigos adotados?

João: Sim, exceto na última aula.

Miguel: Para você, quais foram as formas geométricas mais fáceis de serem identificadas?

João: Linhas paralelas e diagonais.

Miguel: Para você, quais foram as formas geométricas mais difíceis de serem identificadas?

João: Senti maior dificuldade em curvas.

Miguel: Como você avalia os códigos utilizados para as representações em geral, como cargas positivas e negativas, âmbar, lã, processo de atrito etc.?

João: Ótimas. Adorei a representação das cargas.

Miguel: Quais sugestões você apresenta para a melhoria das simulações?



João: Considero as aulas ótimas, porém a representação de dois campos elétricos positivos e negativos na última aula foi um pouco difícil de compreender.

Miguel: O que você entende por eletricidade?

João: É o fluxo de cargas positivas e negativas.

Miguel: No inverno, quando tiramos um blusão do corpo após usá-lo por algumas horas, às vezes escutamos alguns estalos. Você já escutou esses estalos alguma vez? O que você acha que causa esse som?

João: Sim, o atrito entre as superfícies (pele e lã) faz com que haja um fluxo de cargas entre elas. Os estalos ocorrem quando os elétrons voltam ao corpo de origem.

Miguel: Você já levou um choque elétrico ao encostar em outra pessoa ou na maçaneta de uma porta ou veículo? Como você explica esse fenômeno?

João: Sim, várias vezes. O fenômeno é explicado pela diferença de carga entre as superfícies.

Miguel: O que você entende por força elétrica?

João: Interação entre duas partículas de cargas iguais ou opostas.

Miguel: O que você entende por campo elétrico?

João: O campo elétrico existe independente da interação com outras cargas, pode se dizer que é a forma que a força se comportaria caso interagisse com outras cargas.

Miguel: Última pergunta: Por questões éticas, não posso usar teu nome verdadeiro no trabalho. Quer escolher o teu nome falso?

João: Beleza, pode ser João, sei lá, nome comum.

Miguel: Certo. Muito obrigado, João!

João: Foi muito legal!